DIE

COSMOGONIE VON KANT.

INAUGURAL-DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE BEI DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORGELEGT VON

GUSTAV EBERHARD.

WIEN.
K. K. HOFBUCHHANDLUNG WILHELM FRICK
1893.

DIE

COSMOGONIE VON KANT

VON

DR. GUSTAV EBERHARD.

EINLEITUNG.

In neuerer Zeit hat sich wieder ein grösseres Interesse für die Urzustände und Entwicklung unseres Sonnensystemes gezeigt und dies ist wohl in Verbindung zu setzen mit den Fortschritten der Astrophysik und einiger Theile der theoretischen Physik (mechanische Wärmetheorie). Es sind neuerdings zahlreiche, mehr oder minder anfechtbare Hypothesen über die Entstehung der Himmelskörper aufgestellt worden, die sich indessen meist an die von Kant und Laplace gegebenen anlehnen, ohne aber die Popularität letzterer beiden erlangt zu haben. Auch das Studium dieser beiden Theorien hat sich sehr belebt, wie die eingehende Kritik der Laplace'schen Hypothese[1]) und die vielfachen Neuabdrucke der Schrift von Kant bezeugen. Kant's Naturgeschichte[2]) des Himmels erschien 1755 und erlangte zunächst wenig Beachtung. Erst indem Männer wie Arago[3]), A. v. Humboldt[4]), W. Struve[5]), Schopenhauer[6]), Helmholtz[7]) und in letzter Zeit Zöllner[8]) und Andere[9]) mehrfach auf sie hinwiesen, wurde sie allgemeiner bekannt, und jetzt findet man Kant's Theorie in den meisten populären Lehrbüchern dargestellt; freilich hat sie da meist eine solche Gestalt bekommen, dass man meinen sollte, sie gehöre zu den gesichertsten und bestbewiesenen Resultaten der Wissenschaft und damit scheint sie den Charakter der Hypothese, den ihr Kant selbst gab[10]), gänzlich verloren zu haben. Es kommt ferner hinzu, dass ihr Wert in Hinsicht auf den heutigen Stand der Wissenschaft vielfach überschätzt wird[11]), da eine sachgemässe Kritik der ganzen Schrift, soweit mir bekannt, nicht existirt. Die Bemerkungen von Dühring[12]), Zöllner[13]), Wolf[14]), Faye[15]), Weiss[16]) etc., beziehen sich nur auf einzelne, besonders hervortretende Punkte, aber eine Werthschätzung der ganzen Theorie ist erst durch eine durchgehende Untersuchung zu erlangen. Eine cosmogonische Hypothese soll ja die Entstehung, zunächst des Sonnensystemes aus einem Urzustande bis zu seiner heutigen Gestalt auf Grund rein mechanischer und physikalischer Principien, ohne willkürliche Eingriffe, liefern, und dies thut die Kant'sche Theorie keineswegs, wie man im Verlaufe der folgenden Untersuchung sehen wird, vielmehr fehlt sie vielfach gegen fundamentale mechanische Anschauungen und Gesetze. Dies nachzuweisen, sei der erste Zweck der folgenden Zeilen. Hierbei sollen die Kant'schen Ausführungen nur vom Standpunkte der Mechanik aus betrachtet und alle Einwürfe, welche die Spectralanalyse, Wärmetheorie etc. bieten, ausser Acht

---

[1]) Vergl. die Untersuchungen von Roche, Darwin, Kirkwood, Faye, Wolf etc.

[2]) Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischen Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt. Königsberg und Leipzig 1755.

[3]) Annuaire pour l'an 1842, 2. Edit. Paris. p. 449.

[4]) Kosmos. 1845, I p. 90, III 551.

[5]) Etudes d'astronomie stellaire 1847, p. 8.

[6]) Parerga und Paralipomena, 1850 II p. 143.

[7]) Vorträge und Reden, 3. Auflage 1884, II p. 55—93.

[8]) Photometrische Untersuchungen 1865, p. 215 ff und Natur der Kometen, 1872, p. 426 ff.

[9]) Die Broschüre: A. Meydenbauer, Kant oder Laplace? Marburg 1880 erhält hier keine weitere Beachtung, da die in dieser Schrift dargestellte Theorie trotz der Versicherungen des Verfassers nicht die Kant'sche ist. Auch sind die Ausführungen darin durchaus unwissenschaftlich.

[10]) N. des H., p. 15, 28 etc.

[11]) Vergl. die Ausgabe der N. d. H. von H. Ebert; Leipzig 1890, p. 95, „entwickelt hier Anschauungen, die heute noch volle Geltung haben".

[12]) Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik 1873, p. 414—416.

[13]) Phot. Unt. p. 224.

[14]) Les hypothèses cosmogoniques. Paris 1886, p. 8 ff und Bulletin astron. B. I u. II.

[15]) L'origine des Mondes. Paris 1884, p. 133 und Compt. rendus hebd. 1880, Tom. 90, p. 1246.

[16]) Weiss, Gesetze der Satellitenbildung, Gotha 1860, gibt eigentlich nur einen Ueberblick über die Kant'sche Theorie, seine folgenden Entwicklungen basiren auf der Laplace'schen.

gelassen werden, da diese Zweige der Physik zur Zeit Kant's theils noch gar nicht, theils erst in den Anfängen existirten und eine Hypothese immer mit dem jeweiligen Fortschreiten der Wissenschaft weiter ausgebaut werden muss, ohne dass dabei ihre Grundgedanken berührt zu werden brauchen. Einige Theile jedoch, die oben genannten physikalischen Disciplinen angehören, wie die Theorie der Sonne[17]), stehen auch für Kant's Zeiten tief unter den Anschauungen der damaligen Physik.

Ebensowenig sollen aber auch philosophische Gesichtspunkte gestreift werden und wird dieser Umstand motiviren, dass von philosophischen Schriften über die N. d. H. nur diejenigen benutzt wurden, die dem Verfasser zufällig bekannt waren.

Die Kant'sche Theorie hat aber auch noch eine andere Seite, die hohe Beachtung verdient und die noch heute ihre Geltung behält: Der Hinweis auf die Einheit der Materie im Sonnensysteme sowohl als auch im Weiteren aller Himmelskörper. Kant betont nämlich[18]), dass die bekannten Eigenschaften der planetarischen Körper auf einen gemeinsamen Ursprung aller, folglich auf Einheit der Materie schliessen lasse. Mittelst Analogieschlüssen dehnte er dies auf die ganze Sternenwelt aus. Dieser Satz ist für die moderne Astrophysik von grosser Wichtigkeit[19]), denn dieselbe darf ihre Forschungsmethoden, die bei der Betrachtung irdischer Substanzen gewonnen wurden, erst dann auf die nicht irdischen Körper anwenden, wenn sie annimmt, dass dieselben im Allgemeinen von gleicher Beschaffenheit mit den irdischen sind, denn man kann nur Gleichartiges vergleichen. Die Astrophysik muss also die Hypothese der Einheit der Materie im Weltenraume vor Beginne ihrer Untersuchungen machen und die Annahme dieser Hypothese wird aus dem ihr ziemlich abliegenden Gebiete der Cosmogonie gerechtfertigt. Später erst vermag die Astrophysik einen Beweis a posteriori zu liefern, dass die Grundannahme erlaubt war, indem sie die Existenz der einzelnen Stoffe in den Himmelskörpern nachweist, theils durch spectralanalytische etc. Methoden, theils durch chemische Analyse der aus dem Weltenraume auf unsere Erde gelangten Körper, der Meteoriten. Immerhin ist aber der durch die Cosmogonie gegebene Beweis wichtig und es ist interessant, dass er zu einer Zeit schon gegeben wurde, wo man über die Beschaffenheit der Himmelskörper so gut wie nichts wusste und Alles auf vage Phantasien hinauslief.

Aus dem Umstande nun, dass die Theorie von Laplace diese Folgerung auch gibt, und dass beide Gelehrte von denselben Eigenschaften des Planetensystemes ausgehend, seine Entstehung auf mechanische Weise zu erklären versuchten, ist es wohl herzuleiten, dass man meist von Kant-Laplace'scher Hypothese redet und die meisten Darstellungen ein Gemisch beider Theorien sind.[20]) Namentlich seit Zöllner ist dies gebräuchlich geworden, ja derselbe veröffentlicht eine Nebeneinanderstellung beider Hypothesen[21]), um die Gleichheit derselben nachzuweisen[22]). Das Schema Zöllner's lässt sich aber geradezu zu einem Nachweise des Gegentheiles seiner Behauptungen benutzen und es ist gegen eine Vermischung beider Theorien zu protestiren[23]), da sie ausser in dem oben Angeführten in den meisten Stücken von einander verschieden sind. Eine Vergleichung beider Hypothesen und der Nachweis ihrer hauptsächlichsten Verschiedenheiten, sowie eine oberflächliche Abwägung des Werthes beider gegeneinander soll der zweite Zweck dieser Studie sein. Es wird gezeigt, dass die Anschauungen von Laplace ungleich klarer, strenger und fester begründet sind gegenüber denen von Kant, und dass die Darstellung der Cosmogonie, wie man sie in den meisten Büchern findet, und wie sie in das wissenschaftliche Bewusstsein übergegangen ist, die von Laplace ist, dass es also auch gerechtfertigt ist, ihr den Namen dieses ihres Urhebers beizulegen, ohne dass dadurch Kant's Verdienste auf diesem Gebiete in Bezug auf die Werthschätzung beeinträchtigt werden. Auf Umgestaltungen beider Theorien, wie es z. B. die von Faye, Braun etc. sind, soll hiebei keine Rücksicht genommen werden.

Endlich möge in einem kurzen Schlussüberblicke auf einige Punkte hingewiesen werden, die vielleicht in Zukunft eine für den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft einwurfsfreie Theorie aufbauen helfen werden. Gegenwärtig, wo einige Erscheinungen des Planetensystemes noch unerklärt sind, wie z. B. die Lagenverhältnisse der Bahnen im Asteroidenringe[24]), dürfte eine neue Hypothese

---

[17]) N. d. H. p. 70 ff

[18]) N. d. H. p. 4, 14, 28 etc.

[19]) Ueber die Wichtigkeit der Cosmogonie für die Astrophysik, vergl. auch Zöllner, Phot. Unt. p. 214.

[20]) Vergl. Helmholtz, Vorträge II p. 92, Schopenhauer Parerga II p. 117, ebenso C. Braun, die Cosmogonie vom Standpunkte christlicher Wissenschaft 1889, p. 49, 65, 66, 71, 76, etc. Die Rechnungen in dieser Schrift p. 58, 62, 31—32, 247, 253 sind nicht richtig, da der Verfasser überall die Integrationsconstante weglässt. Siehe sonst zu diesem Buche die Recension von Foerster Vierteljahrschrift der A. G. B. 25.

[21]) Natur der C. p, 460.

[22]) Natur der C., 482; Phot. Unt. p. 230 ff.

[23]) Wolf hyp. cosm. p. 19, Ebert in N. d. H. p. 95.

[24]) Vergl. Tisserand's Untersuchungen über die Asteroiden (Annuaire du Bureau des Longitudes 1891.)

aufzustellen, nicht angebracht sein. Vor Allem muss neben der Stabilitätsfrage noch die Theorie der Gleichgewichtsfiguren ausgebildet werden, welche die grösste Rolle bei derartigen Untersuchungen spielt. Beides dürfte vielleicht in nicht allzuweiter Ferne sein, nachdem durch hervorragende Arbeiten (Poincaré und Darwin) die Wege schon angebahnt sind.

Man sieht also auch hier, dass auf einem Gebiete, wo der freien Phantasie grosser Spielraum geboten ist, dennoch die mathematische Forschung das Fundament liefern muss, wenn brauchbare Resultate erlangt werden sollen.

Capitel I.

Kritik der Kant'schen Lehre über die Entstehung des Sonnensystemes.

Urzustand der kosmischen Materie und Bildung der Planeten.*)

(N. d. H. p. 14—28).

Der einfachste Zustand, „der auf das Nichts" folgen kann, scheint Kant der zu sein, dass alle (I)
Materie, aus der die jetzigen Planeten, Kometen und die Sonne bestehen, in kleinen Bruchstücken, etwa in der Form des Staubes oder eines Pulvers im Raume zerstreut war, darauf weisen die Ausdrücke: „zerstreute Elemente, Partikel, elementarische Partikel etc." hin, sie sind weder an Grösse noch in Bezug auf chemische Zusammensetzung einander gleich, und zwar ist ihre Anzahl und ihre Verschiedenheit sehr gross, da es im Allgemeinen weniger Stoffe von grosser „specifischer Dichtigkeit und Anziehung" geben und ausserdem die weniger dichten in viel höherem Masse theilbar sein sollen. So ist also jener Raum, den die Urmaterie einnimmt, weniger mit den dichteren Partikeln durchsetzt, als mit den andern.[1]) Von einem „Gasball, einer Nebel- oder[2]) Dunst-Kugel" ist hier nicht die Rede, sonst wäre es auch nicht denkbar, wie[3]) „der Körper im Mittelpunkt, die Sonne, nicht diejenige flammende Gluth hat, die nach vollendeter Bildung auf ihrer Oberfläche hervorbricht", da ein Uebergehen von dem festen zum gasförmigen Aggregatzustand ohne Zuhilfenahme von Wärme wohl nicht möglich ist.[4]) Wir haben es vielmehr mit einer Wolke discreter Massentheilchen zu thun, und dies ist eine Form, für welche die Meteorringe[5]), die aus Körpern von Staubkorngrösse bis zu beträchtlich grossen Stücken zusammengesetzt sind, einen guten Beweis der Existenzmöglichkeit bieten. Das ist Alles, was Kant über den Urzustand sagt. Es treten aber Fragen auf, die er nicht beantwortet: welche Gestalt ungefähr und welche Ausdehnung im Raume hatte diese Wolke und wie waren die dichtern Partikeln in einem bestimmten Zeitmomente vertheilt? Zeigte die Wolke eine Zunahme der Dichtigkeit von aussen nach innen und welches war das Gesetz derselben, oder war die Dichtigkeit eine gleichförmige, wenn man unter Dichtigkeit die Anzahl der Theilchen in der Raumeinheit versteht? Dies sind doch alles höchst wichtige Punkte, welche für die ganze folgende Weiterentwicklung der Urmaterie geradezu bestimmend sind. Es hätte die „mechanische Anordnung des Urnebels" gegeben werden müssen, d. h. der Urzustand als „mechanische Systemverfassung charakterisirt werden müssen".[6])

Aus dieser so beschaffenen Materie geht die Entstehung der Planeten vor sich, und zwar (II)
soll sie dadurch eingeleitet werden, dass die dichten Partikeln die dünneren in ihrem Umkreis an sich

---

*) Ich habe im Anhange einen Auszug des Textes der N. d. H. gegeben, der zur Vergleichung mit obigen Ausführungen herangezogen werden soll. Auf ihn beziehen sich die am Rande beigefügten Zahlen.

[1]) Ueber den Grad der Verdünnung vergl. p. 27, 28. Kant findet, dass die ursprüngliche Materie eine Dichtigkeit hatte, die 30 millionenmal geringer ist, als die der atmosphärischen Luft. Als Beispiel einer solchen enormen Verdünnung führt er die Kometenschweife an, die „so durchscheinend sind, dass die kleinen Sterne dadurch gesehen werden können, welches unsere Luft, wenn sie von der Sonne erleuchtet wird, in einer Höhe, die viel tausendmal kleiner ist, nicht verstattet". Dies letztere ist falsch, vielmehr beruht diese Erscheinung auf dem Verhältniss der Helligkeit der beleuchteten Luft zu der des Sternes und der Helligkeit der Kometenmaterie zu der des Sternes, ist also durch das psychophysische Gesetz von Weber erklärbar.

[2]) Zöllner, Phot. Untersuch. p. 221, 232, Helmholtz, Vorträge II p. 92, Braun, p. 21, 37.

[3]) N. d. H. p. 19.

[4]) Zöllner, Phot. Unt. p. 232 schreibt: „Betrachtet man hierbei den ungemein fein zertheilten Zustand der primitiven Materie als eine Wirkung derselben Ursache, welche heute dazu erforderlich wäre, jenen Zustand wieder hervorzubringen, so wird man naturgemäss zu der weiteren Annahme geführt, dass die Temperatur jener ursprünglichen Nebelmasse eine ausserordentlich hohe gewesen sei." Ganz abgesehen davon, dass bei Kant von einer hohen Temperatur nicht die Rede ist, so lässt sich auch eine Vertheilung der Materie in Staub wohl nicht durch Hitze erklären, Zöllner muss also die Kant'sche Theorie verlassen, falls er dies annehmen will.

[5]) Kirkwood, Meteoric Astronomy 1867, p. 120.

Schiaparelli, Entwurf einer astr. Theorie der Sternschnuppen 1871, p. 40. Auch der Saturnring bildet ein Analogon, da er nach den mechanischen Untersuchungen von Maxwell und Hirn und nach den photometrischen von Seeliger aus discreten Massentheilen besteht.

[6]) Dühring, p. 414.

ziehen, so dass nur ein Moment Ruhe in dem Systeme gewesen sei. Hier begegnen wir schon einigen groben Irrthümern. In einem Raume, in dem Centra vorhanden sind, auf welche keine andern Kräfte, als die gegenseitigen Attractionen wirken, wie dies Kant an jener Stelle voraussetzt, und die von einander endliche, wenn auch sehr grosse Entfernungen haben, kann niemals, auch nicht einen Augenblick Ruhe sein, wie sonst auch die Vertheilung im Raume sein mag, die Körper würden sich sofort nach dem Centrum der grössten Attraction hin bewegen. Würde man aber doch die Annahme machen, dass diese Centra einen Moment in Ruhe seien, so würde nach dem Principe der Trägheit, das auch Kant geläufig war, stets Ruhe herrschen, da ja keine andern Kräfte wirken, als die von Anfang an da waren. Es würde damit der Process abgeschlossen sein. — Weiter sollen dann die wenig dichten Elemente durch die in ihrer Nähe befindlichen dichteren gesammelt werden, diese wieder von den noch dichteren und so fort.[7]) Aus Kant's Darstellung müsste man nun schliessen, dass diese Vorgänge sich nacheinander abgespielt haben, während es gleichzeitige sind und dies hätte betont werden müssen. Es würden sich auch nicht mehrere Klumpen bilden, wenn jene Repulsivkraft nicht da wäre, sondern alles würde in einen zusammenstürzen, da ja die Theile der Urmaterie ursprünglich nicht mit Bewegung begabt sind. Kant's Behauptung, dass mehrere Klumpen sich bilden würden, ist nur dann richtig, wenn man annimmt, dass eben die jene Klumpen entstehenlassenden Centra durchaus fest im Raume wären, d. h. also, da wir sahen, dass dies nach den früheren Voraussetzungen nicht möglich ist, sie müssten durch übernatürliche Kräfte festgehalten werden. Der ganze Fehler in Kant's Anschauung besteht darin, dass er die Gleichzeitigkeit aller dieser Vorgänge übersieht, er stellt es sich so vor wie etwa ein physikalisches Experiment, wo wir durch irgend welche Mittel, also durch willkürliche Eingriffe in den Vorgang, eine Nacheinanderfolge statt einer Gleichzeitigkeit erzielen können.[8])

(III) Die Kraft nun, welche das Zusammenfallen aller einzelnen Centra in ein einziges hindert, beruht auf dem gegenseitigen Zusammenstosse der Partikeln, die sich nach dem Centrum bewegen. Liest man die betreffende Stelle, so muss man sagen, dass Kant eine geradezu kindliche Vorstellung von dieser Repulsivkraft hatte und Dühring[9]) ist Recht zu geben, wenn er sagt: „man kann nicht einmal die Analogie eines Gases auf die Kant'schen Voraussetzungen anwenden; denn bei einem Gase kennt man doch wenigstens die Wirkung der Repulsivkraft und hat eine klare Idee davon, wie sich diese und die Gravitation gegenseitig beschränken können. Gegenseitige Hinderungen der Theilchen und seitliche Ablenkungen sind aber sehr vage Vorstellungen, die ebenso gut ohne moderne Mechanik möglich waren und in der That an das Alterthum und namentlich an Epicur erinnern."

Kant mag das später selbst eingesehen haben, denn in Gensichen's Auszug[10]) aus der N. d. H. heisst es: „vornehmlich wenn man (ich bediene mich hier eigener Worte des Herrn Professors Kant) die durch Herrn Hofrath Lichtenberg's wichtigen Beifall gewürdigte spätere, als Supplement zur Theorie des Himmels hinzugekommene Meinung damit verbindet, dass nämlich jener dunstförmig im Weltenraume verbreitete Urstoff, der alle Materien von unendlich verschiedener Art im elastischen Zustande in sich enthielt, indem er die Weltkörper bildete, es nur dadurch that, dass die Materien, welche von chemischer Affinität waren, wenn sie in ihrem Falle nach Gravitationsgesetzen aufeinander trafen, wechselseitig ihre Elasticität vernichteten, dadurch aber dichte Massen, und in diesen diejenige Hitze hervorbrachten, welche in den grössten Weltkörpern (den Sonnen) äusserlich mit der leuchtenden Eigenschaft, an den kleineren aber (den Planeten), mit inwendiger

---

[7]) Zöllner Phot. Unt. p. 230 schreibt, dass Kant „die einzelnen Molecüle der um die Sonne rotirenden Dunstkugel ausser aller Beziehung untereinander, und lediglich unter dem Einflusse der Sonnenattraction sich bewegen lässt." Dies ist nicht zutreffend, da ja zwischen den einzelnen Partikeln die Newton'sche und chemische Attraction wirken soll. Die Sonne war auch nicht von Anfang an da, sondern bildet sich erst im Verlaufe des Processes.

[8]) Hier ist bei Wolf h. c. p. 19 ein Irrthum, „Kant suppose le chaos universel primitif se divisant, par l'effet de l'attraction en un grand nombre d'amas isolés, germes des étoiles futures, qui restent en repos par l'équilibre de leurs actions mutuelles. Un pareil système d'amas dénués de vitesse initiale se rassemblerait forcément en une masse unique." Wie aus p. 17 N. d. H. hervorgeht, wird nirgends behauptet, dass diese Klumpen andauernd in Ruhe bleiben, sonst hätte Herr Wolf Recht, es wird vielmehr jene Repulsivkraft eingeführt, die das Zusammenstürzen in einen Ball verhindert. Infolge davon ist auch die sonst sehr verdienstvolle und gute Uebersetzung der N. d. H. von Herrn Wolf, p. 9 und p. 150 nicht zutreffend: La conséquence de ce travail sera la formation de diverses masses. Ebenso ist folgende Stelle (p. 9) auf dieses Missverständniss zurückzuführen: „Ces divers amas paraissent destinés à former les étoiles ou les centres de premier ordre dans l'univers entier. Kant les déclare immobiles etc." Kant schreibt nun (N. d. H. p. 6): „Alle Sonnen haben Umlaufsbewegungen entweder um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt oder um viele." — Auch in der populären Astronomie von Newcomb-Engelmann 1881, p. 575 findet sich dieser Irrthum.

[9]) Dühring p. 414.

[10]) William Herschel über den Bau des Himmels etc. Nebst einem authentischen Auszug aus Kant's allgemeiner Naturgeschichte etc. Königsberg 1791 (p. 206 ff). Der Auszug ist nach einem Auftrage von Kant gemacht worden und von ihm selbst durchgesehen und genehmigt worden.

Wärme verbunden ist.“ Durch diese Stelle ist die Natur und Wirkungsart dieser Repulsivkraft etwas näher erklärt: sie besteht in einem Ablenken von der geradlinigen Bewegung durch Stösse elastischer Körper. Abweichend von der ersten Conception hat hier die Urmaterie die Eigenschaft der Elasticität und wird der glühende Zustand der Centralkörper fast genügend erklärt. Diese Lesart nähert sich den Annahmen von Laplace. Warum aber Kant diese Modification seiner ursprünglichen Ansichten vornahm, wird nicht erwähnt, wohl ist es hingegen wahrscheinlich, dass Herschel's Untersuchungen über die Nebelflecke ihn dazu veranlassten.

Die weitere Entwicklung der Planeten wird durch das gleichzeitige Wirken der Gravi- (IV)
tation und jener Repulsivkraft bedingt. Es werden nach und nach alle Köper der Wolke gekrümmte Bahnen beschreiben, die Bewegung soll nach und nach so werden, dass ein Richtungssinn vorherrscht, die Körper, die sich diesem Strome nicht anschliessen, werden vom Centralkörper absorbirt, es bleiben nur schliesslich die übrig, die freie Kreisbahnen in nahezu derselben Ebene um die sich bildende Sonne beschreiben. Wiederum ist der oben erwähnte Fehler, das Zerlegen der gleichzeitigen Vorgänge in eine Nacheinanderfolge, Schuld an den vielen Unmöglichkeiten der Stelle IV. Es ist eben nicht zu denken, warum die Theilchen erst, wenn der Centralkörper grösser geworden ist, gegen ihn gekrümmte Bahnen beschreiben sollen, dies findet sofort statt, sowie überhaupt Anziehung da ist. Ferner, wenn jedes Theilchen in jenen Wirbeln einmal eine gekrümmte Bahn beschrieben hat, „wozu ihnen ihre grosse Zerstreuung in diesem Raume Platz bietet“, so ist wiederum nicht einzusehen, wie plötzlich ohne weitere neue Ursache die Bewegungen „untereinander streiten“ sollen, er lässt es auch ganz im Unklaren, warum alle Theilchen schliesslich um die Sonne in parallelen Kreisbahnen in gleicher Richtung herumlaufen. Etwas deutlicher ist die Stelle in Kant's Schrift: Der einzig mögliche Beweisgrund zu einer Demonstration des Daseins Gottes etc. 1763, p. 123—148, wo ein Auszug seiner Cosmogonie gegeben wird. Die betreffende Stelle ist im Anhang als V angeführt. Die Hinderung besteht danach also aus Zusammenstössen; treffen zwei Theilchen zusammen, so gibt das mit grösserer Energie begabte die zukünftige Bewegungsrichtung beider an, es hat also eine indirecte Auslese[11]) statt, dabei werden sich aber schon jetzt durch die Vereinigung mehrerer Partikeln Körper bilden. Genau verfolgen lässt sich ein solcher Vorgang nicht, es ist aber jedenfalls richtig[12]), dass schliesslich nach sehr langer Zeit sich eine allen Körpern gemeinsame Bewegungsrichtung herausstellt, Voraussetzung dabei ist aber und dies ist bestimmend für den Process, dass schon von Anfang an eine Bewegungsrichtung prävalirte. Dies bemerkt weder Kant, noch lässt es sich aus seinen Annahmen schliessen, es ist dies also ein erheblicher Mangel.[13]) Welche Gestalt die Gesammtheit aller Körper hat, die sich jetzt gebildet haben, ist aus Kant schwer zu ersehen, wie überhaupt obige Stelle mit zu den dunkelsten der ganzen Schrift gehört. Es scheint aber, dass er sich eine breite, körperliche Scheibe[14]) rings um die Sonne herum denkt, dieselbe ist keineswegs compact, sondern „ein jegliches Theilchen beschreibt in freier Bewegung concentrische Zirkelläufe.“ Diese breite und dicke Scheibe

---

[11]) Vergl. Du Prel, der Kampf um's Dasein am Himmel 1876 p. 116 etc. und desselben: Die Planetenbewohner und die Nebularhypothese 1880 p. 3. Er weist zuerst auf die indirecte Auslese als wichtigen Factor bei der Entstehung des Sonnensystems hin.

[12]) Vergl. Anmerkung (7) der N. d. H. in der Ausgabe von Ebert.

[13]) Abweichend hievon sind die Erklärungen von Zöllner (Phot. Unt. p. 221—223) und Wolf, p. 10, die ein Ellipsoid annehmen, was ich nicht aus Kant's Text herauslesen kann:

Zöllner's phot. Unt. p. 221: „nach bestimmter Richtung rotirende Dunstkugel“; „alsdann wird auseinandergesetzt, wie in Folge der Centrifugalkraft die rotirende Nebelmasse sich nach und nach sehr stark abplattet und folglich die Aequatorialebene des hiedurch entstehenden Rotationsellipsoides mit der Aequatorialebene der späteren Sonne zusammenfallen muss.“ Zöllner fasst also den Vorgang als ein Rotationsproblem auf und seine Annahme einer „Dunstkugel“ berechtigt ihn dazu. In Kant's Ausführungen ist aber besonders hervorgehoben, dass jedes Theilchen für sich, freie, ungehinderte Kreisbewegung habe, somit deckt sich Kant's Anschauung durchaus nicht mit der Darstellung derselben durch Zöllner.

Wolf c. p. 10 „Tout autour une masse relativement moindre, formée de particules indépendantes, qui tournent dans des orbites circulaires suivant la troisième loi de Kepler. Par l'effet de la force centrifuge, cette masse s'aplatit de plus en plus, et le plan de rotation de cet ellipsoïde coïncide avec le plan équatorial de la condensation solaire.“ Weiter unten sagt er: „spheroïde tournant,“ Er gesteht also die freie Bewegung der Partikeln nach dem 3. Kepl. Gesetze zu und lässt trotzdem das Sphäroïd sich abplatten, was mir gänzlich unverständlich ist, da eine Schar discreter Massentheile doch nicht als compacte Masse aufzufassen ist, die den Gesetzen der Rotation unterliegt. Der Irrthum des Herrn Wolf ist wohl auf obige Stelle Zöllner's zurückzuführen, da Herrn Wolf's Worte die fast wörtliche Uebersetzung der von Zöllner sind.

[14]) E. Budde, Zur Kosmologie der Gegenwart, Bonn 1872 p. 29 -30 versucht einen theoretischen Beweis für das Zustandekommen einer gemeinschaftlichen, nahezu in einer Ebene befindlichen Bewegung zu geben. Er schreibt: „Grenzt man nämlich die Masse des Sonnensystemes . . . irgendwo ab . . ., so existirt für dieses System eine unveränderliche Ebene, für welche die Summe der Projectionen der Flächen, welche die Radien-Vectoren der bewegten Massenpunkte beschreiben, jede Projection mit der Masse des gehörigen Punktes multiplicirt, ein Maximum ist. Ferner ist die Summe dieser Producte der Zeit proportional, die Geschwindigkeit, womit sie zunimmt, constant. Hiebei sind rechtläufige Bewegungen . . . . positiv, rückläufige negativ zu rechnen. Wenn nun in einem solchen Systeme die absoluten Werthe der Producte aus den Massen und Flächen, welche die Radienvectoren selbst beschreiben,

soll sich nachher verschmälern, wie später gezeigt wird. Es ist aber mechanisch vollständig undenkbar, dass eine solche Scheibe, deren discrete Körper „parallele Kreise“ um die Sonne beschreiben, auch nur einen Moment stabil ist, es muss ja doch die Bahnebene eines jeden einzelnen Körpers durch das Attractionscentrum gehen, da eine Centralbewegung stattfindet, es würden also Körper, die diese Bedingung nicht erfüllen, überhaupt gar nicht entstehen können, sondern die Materie, die sich in dieser Lage befände, würde sofort in den Centralkörper stürzen oder wieder in den Raum hinausgeworfen werden. Gegenüber diesen Unmöglichkeiten übersieht auch Kant einen Punkt, der ihm eine Theorie der Entstehung der Excentricität der Bahnen leicht gegeben hätte: die Wirbel müssen nicht solche sein, deren Durchschnitt senkrecht zur Wirbelaxe ein Kreis ist. Stellen wir uns ein Theilchen vor, das mit einer bestimmten Geschwindigkeit begabt ist, und von der Sonne angezogen wird, so wird es sich doch in einem Kegelschnitte bewegen müssen. Der Kreis nun ist ein specieller Fall der Ellipse, es ist also höchst unwahrscheinlich, dass sich diese unendlich vielen Theilchen alle gerade in Kreisen bewegt haben sollen, es sind vielmehr Ellipsen gewesen, da Parabel und Hyperbel für die Entstehung geschlossener Bahnen nicht in Betracht kommen. Damit ist das Auftreten von Excentricität überhaupt erklärt,[15]) es musste nun gezeigt werden, warum diese Excentricitäten für die Planeten verhältnissmässig so klein sind. Dies geschieht von Kant nicht. Gleichfalls ungezwungen war die Erklärung der Bahnneigungen zu geben. Die Bahnen in der körperlichen Scheibe können nicht parallel gewesen sein, sie werden sich in kleinen Winkeln schneiden, ohne dass dadurch neue Zusammenstösse stattfinden oder die allgemeine Bewegungsrichtung geändert wird, wie es z. B. bei den Planetoiden der Fall ist, die Staubwolke hat sich ja in einen Schwarm von Körpern mit grösseren Zwischenräumen zwischen einander aufgelöst. Dass die Kant'sche Erklärung des Dünnerwerdens jener Scheibe mechanisch unmöglich ist, folgt aus dem schon vorher erwähnten Umstande, dass bei einer Centralbewegung die Bahnebene der Körper nie einander parallel sein können, sondern sich immer schneiden müssen, wenn sie nicht zusammenfallen, da dieselben stets durch das Attractionscentrum gehen müssen. — Auch die Bildung der eigentlichen Planetenkörper muss als verfehlt angesehen werden. Sobald zwei getrennte Massen unabhängig von einander Bahnen beschreiben, die sich nirgends schneiden, kann niemals eine derselben ihre Bahn verlassen und sich mit der anderen vereinigen, es würde dies einfach dem Causalitätsgesetze widersprechen: wo keine Ursache ist, kann auch keine Wirkung sein. Es ist aber oben schon darauf hingewiesen worden, dass sich die Planetenkörper viel früher bilden mussten, nämlich schon beim Uebergange des Wirbels in eine Scheibe, da hiebei Zusammenstösse und infolgedessen Vereinigungen von Massen stattfinden mussten. Da ferner alle Planeten eine nahezu kugelförmige Gestalt haben und dies nicht als Zufall zu betrachten ist, so hätte Kant darauf schliessen müssen, dass dieselben zu einer Zeit glühend-flüssig gewesen sind. Dies wäre sehr wichtig gewesen und hätte viele seiner Anschaungen zum Vortheil verändern können. Wohl nicht zu vernachlässigen ist auch die Wirkung der unter diesen Umständen sehr stark abgeplatteten Sonne auf die Entstehung und Art der Bewegung der Planeten.

---

gebildet und addirt werden, so hat die Wachsthumsgeschwindigkeit dieser Summe folgende Eigenschaften: erstens ist sie nie kleiner, sondern im Allgemeinen grösser als die entsprechende Geschwindigkeit, womit die Summe der Producte aus Massen und Projectionen wächst. Zweitens, wenn in dem Systeme Bewegungshindernisse wirken, so vernichten sie in jedem Augenblick im Allgemeinen irgend welche entgegengesetzten Geschwindigkeitscomponenten der Massen und verkleinern dadurch den fraglichen Unterschied. Derselbe nimmt durch die thätigen Hindernisse ab bis zum Werth Null. Hat er diesen erreicht, so sind die absoluten Werthe der von den Radienvectoren in der Zeiteinheit beschriebenen Flächen ihren Maximalprojectionen gleich; ihre Ebenen fallen also mit der unveränderlichen Ebene zusammen oder sind ihr parallel“ etc. Man sieht sofort, dass dieser Beweis auf einem Kreisschluss beruht, indem in den Annahmen des „zweitens etc.“ das vorausgesetzt wird, was bewiesen werden soll.

Auch sonst versucht er die Kant'sche Theorie zu kritisiren, p. 22: „wenn die sämmtliche Materie in Form eines hoch erhitzten Gases den Weltraum erfüllte, war keine Abkühlung möglich etc.“; p. 23: . . . „dass die Planeten nicht aus Ringen entstanden sein können, die sich, wie Kant und Laplace es wollen, infolge der Gleichheit von Centrifugalkraft und Attraction von der Sonne abgelöst hätten etc.“ Diese Ausführungen können sich nicht auf die N. d. H. beziehen, da ja Kant nirgends dieses behauptet. Von den Rechnungen über die Saturnsringe sagt er p. 24: „das ist doch klar, dass sie nur den jetzigen stationären Zustand des Saturnsystemes, nicht aber dessen Ursprung erklären etc.“ Auch dies ist, wie die betreffende Stelle in der N. d. H. zeigt, durchaus unrichtig und muss Herr Budde die Kant'sche Schrift gar nicht gelesen haben, sonst sind seine Ausführungen nicht zu verstehen.

[15]) Kant selbst sah die Mangelhaftigkeit seiner Deductionen in diesem Punkte ein, wie die (von H. Ebert weggelassene) Anmerkung zu p. 20 zeigt: „Diese abgemessene Zirkelbewegung betrifft eigentlich nur die der Sonne nahen Planeten: denn von den grossen Entfernungen, da sich die entlegensten Planeten oder auch die Cometen gebildet haben, ist leicht zu vermuthen, dass, weil die sinkende Bewegung des Grundstoffes daselbst viel schwächer, die Weitläufigkeit der Räume, da sie zerstreut sind, auch grösser ist, die Elemente daselbst an und für sich schon von der zirkelgleichen Bewegung abweichen, und dadurch die Ursache der daraus gebildeten Körper sein müssen.“

Zöllner Phot. Unters. p. 223 schreibt dazu, dass Kant die Excentricitäten daraus erkläre, „dass die Theilchen, aus denen sich der Planet in der rotirenden Dunstkugel bildete, nach Massgabe ihres Abstandes vom Attractionscentrum, verschiedene Lineargeschwindigkeiten besitzen, etc.“ Aus Kant's Texte kann man, wie VI zeigt, dies nicht herauslesen,

Gegen obige zwanglose Erklärung der Excentricitäten und Bahnneigungen vergleiche man die höchst geschraubte und gekünstelte von Kant, die in VI mitgetheilt ist. Selbst wenn man alle früheren Voraussetzungen Kant's gelten lassen wollte, so wäre doch der Vorgang, wie er hier dargestellt ist, stark anzuzweifeln. Wird nämlich ein Körper, der sich in einer Kreisbahn bewegt, von einem Schwarm von Partikeln getroffen, wie dies offenbar hier der Fall ist, so wird die Bahn desselben, solange der Körper im Schwarm steht, nicht elliptisch, sondern weit complicirter werden.[16]) Stossen nur 2 in Ellipsen sich bewegende kleine Partikelchen m und μ zusammen, deren Coordinaten x, y, bez. $\xi\,\eta\,\zeta$ seien, so kann allerdings eine Ellipse entstehen. Die Masse nach dem Zusammenstosse $M = m + \mu$ habe die Coordinaten X, Y, Z. Nach dem Schwerpunktsatze und dem Principe von der Erhaltung des Schwerpunktes ist jetzt:

$$1)\quad \begin{cases} mx + \mu\xi = MX & m\dfrac{dx}{dt} + \mu\dfrac{d\xi}{dt} = M\dfrac{dX}{dt} \\ my + \mu\eta = MY & m\dfrac{dy}{dt} + \mu\dfrac{d\eta}{dt} = M\dfrac{dY}{dt} \\ \mu\zeta = MZ & \mu\dfrac{d\zeta}{dt} = M\dfrac{dZ}{dt} \end{cases}$$

Durch den Zusammenstoss werden die Integrationsconstanten sprungweise geändert. Bezeichnen V, A, P, E die lineare Geschwindigkeit, Halbaxe, Parameter, Excentricität des Planeten M, so erhält man, wenn man die 1) in folgende Gleichungen substituirt:

$$2)\quad \begin{cases} V^2 = \left(\dfrac{dX}{dt}\right)^2 + \left(\dfrac{dY}{dt}\right)^2 + \left(\dfrac{dZ}{dt}\right)^2, \qquad \dfrac{k^2\,(1+M)}{A} = \dfrac{2\,k^2\,(1+M)}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}} - V^2, \\ P = 2\sqrt{X^2+Y^2+Z^2} - \dfrac{X^2+Y^2+Z^2}{A} - \dfrac{1}{k^2\,(1+M)}\left(X\dfrac{dX}{dt} + Y\dfrac{dY}{dt} + Z\dfrac{dZ}{dt}\right)^2, \qquad 1 - E^2 = \dfrac{P}{A} \end{cases}$$

die Coordinaten des Planeten M aus den gegebenen Werthen $x, y, \xi, \eta, \zeta, \dfrac{dx}{dt}$ etc.

Benutzen wir die bekannten Formeln für die Differentialquotienten der rechtwinkligen Coordinaten:

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{k}{\sqrt{a'\,(1-e'^2)}}\Big\{[\sin(v'+\pi'-\Omega') + e'\sin(\pi'-\Omega')]\cos\Omega' + [\cos(v'+\pi'-\Omega') + e'\cos(\pi'-\Omega')]\sin\Omega'\cos i'\Big\}$$

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{k}{\sqrt{a'\,(1-e'^2)}}\Big\{\sin[(v'+\pi'-\Omega') + e'\sin(\pi'-\Omega')]\sin\Omega' - [\cos(v'+\pi'-\Omega') + e'\cos(\pi'-\Omega')]\cos\Omega'\cos i'\Big\}$$

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{k}{\sqrt{a\,(1-e^2)}}\Big\{\sin(v+\pi) + e\sin\pi\Big\}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{k}{\sqrt{a\,(1-e^2)}}\Big\{\cos(v'+\pi) + e\cos\pi)\Big\},$$

so folgt

$$V^2 = \frac{k^2}{M^2}\left\{m^2\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) + \mu^2\left(\frac{2}{r_1} - \frac{1}{a_1}\right) + \frac{2\,m\,\mu}{\sqrt{aa_1\,(1-e^2)\,(1-e'^2)}}\Big[[\sin(v'+\pi'-\Omega') + e'\sin(\pi'-\Omega')]\right.$$
$$\left.[\sin(v+\pi-\Omega') + e\sin(\pi-\Omega')] + [\cos(v'+\pi'-\Omega') + e'\cos(\pi'-\Omega')][\cos(v+\pi-\Omega') + e\cos(\pi-\Omega')]\cos i'\Big]\right\},$$

wo a, e, v, π die Halbaxe, Excentricität, wahre Anomalie, Perihellänge bedeuten; i' ist die gegenseitige Neigung der Bahnen und Ω' die Länge des Knotens derselben. Bei einer Kreisbahn, und dieser Fall kommt bei Kant in Betracht, ist aber $e = e' = 0$, $r = r_1 = a_1 = a$, die Perihellänge ist beliebig, wir setzen $\pi = \pi' = 0$, die wahren Anomalien fallen mit den mittleren zusammen; es wird somit

$$V^2 = \frac{k^2}{a}\left\{\frac{m^2 + \mu^2 + 2\,m\,\mu[\sin(nt+\gamma-\Omega')\sin(nt+\gamma'-\Omega') + \cos(nt+\gamma'-\Omega')\cos i']}{M^2}\right\},$$

wo γ und γ' die mittleren Anomalien der beiden Planeten zur Zeit $t = 0$ sind. Sobald also die eckige Klammer < 1 ist, ist die Bahn eine Ellipse.

Aber auch die Thatsachen widersprechen Kant's Theorie. Die äussersten Planeten unseres Sonnensystems von Jupiter bis Neptun sind bei weitem die grössten, sie haben also Partikeln aus

[16]) Vergl. H. Seeliger, Zusammenstösse und Theilungen planetarischer Massen. (Abhandlungen der k. bayr. Akad. II Cl. XVII B. II. Abth.) Artikel 6.

Raumtheilen gesammelt, die äusserst weit von ihren jetzigen Bahnen abliegen, die relative Bewegung der absorbirten Partikeln ist auch eine sehr verschiedene gewesen. Es müssten also diese Bahnen, die grössten Excentricitäten und Neigungen haben, wenigstens weit grössere, als die übrigen Planeten. Dies ist durchaus nicht der Fall, dagegen kommen bei den kleinen Planeten sehr grosse Werthe vor.[17])

	i	e
(2)	34°·44	0·24
(183)	26·33	0·35
(31)	26·27	0·22
(148)	25·21	0·18

Unter den jetzt bekannten Asteroiden sind 17, die eine grössere Neigung als 20° haben und 73, deren Excentricitäten zwischen 0·20 und 0·40 liegen. Diese Disharmonie der Thatsachen und der Theorie war vorauszusehen, da ja die Entstehung der zwei Bahnelemente aus falschen Grundlagen abgeleitet worden ist.[18])

An diese Betrachtungen über die Bahnen der Planeten schliessen sich solche über die Massen und Dichtigkeiten derselben an (N. d. H. p. 21—28), die im Allgemeinen als gelungen zu bezeichnen sind. Newton hatte die im Planetensysteme herrschenden Dichtigkeitsabstufungen auf teleologische Weise zu erklären versucht: die dichteren Stoffe mussten nach ihm deshalb der Sonne näher sein, weil sie bedeutend höhere Wärmegrade auszuhalten hätten, als die entfernteren. Diesen Erklärungsversuch widerlegt nun Kant, indem er auf den Widerspruch hinweist, den er nach sich zieht. Die Sonne sei ja selbst weniger dicht als die Erde, obgleich ihre Stoffe doch gerade die grössten Hitzegrade auszuhalten hätten. Er benutzt hier sehr geschickt die damaligen Kenntnisse über diese Dinge und stellt eine mechanische Theorie dafür auf, die ungezwungen aus seinen Annahmen über den Urzustand folgt. Die specifisch dichteren Theilchen werden den ihnen entgegenstehenden Widerstand leichter überwinden, d. h. näher zum Centralkörper vordringen, als die leichteren, es müssen demnach die unteren Planeten dichter sein, als die oberen, die Sonne selbst dagegen bildet sich aus allen Partikeln, die nicht Centralbewegung erlangten, ist also ein Gemisch der mehr und der weniger dichten, so dass es also gewissermassen eine Probe auf das Exempel sei, wenn die Sonne nahezu dieselbe Dichtigkeit habe, wie die vereinigten Planeten.

Mit den damaligen Werthen der Massen und Dichtigkeiten stimmt dies recht gut, mit den neueren erhält man aber, wie Herr Ebert[19]) zeigte, für die Dichte der vereinigten Planeten 0·17, während die der Sonne 0·25 ist. Es kommt somit eine starke Abweichung heraus. Man muss überhaupt bedenken, dass die Massen und Dichtigkeiten sehr wenig genau bestimmt sind im Verhältnisse zu anderen astronomischen Constanten, dass ausserdem die Massen der inneren Planeten bedeutend kleiner als die der äusseren sind, man ihre Werthe ziemlich variiren kann, ohne das Gesammtresultat viel zu ändern. Jenes Kriterium von Kant ist also, ganz abgesehen davon, dass es hier nicht stimmt, nicht gerade geeignet zur Verificirung seiner Hypothese. Immerhin ist hier ein Fortschritt gegen Newton zu constatiren.

Dasselbe können wir über die Erklärung der Massenverschiedenheiten der Planeten aus den allgemeinen Voraussetzungen sagen. Die Thatsache, dass die Massen der Planeten mit der Entfernung von der Sonne zunehmen, wenn auch nicht ohne Sprünge, gibt Kant den Fingerzeig. Dass der „Centralkörper immer das Hauptstück des Systems bildet," ist natürlich, da er sich „aus dem Niedersatze aller der Partikeln in dem ganzen Umfange seiner Anziehungssphäre" bildet, welche nicht für die Bildung der Planeten verwendet wurden und dies sind die meisten. Die Grösse eines jeden Planeten wird bestimmt „von der Weite seiner Entfernung von der Sonne 1) weil die Sonne durch ihre Anziehung die Sphäre der Attraction eines Planeten einschränkt, aber bei den entfernteren — weniger als bei den näheren; 2) weil die Zirkel, aus denen alle Theilchen zusammengekommen sind, einen entfernteren Planeten auszumachen, grösser sind, und also mehr Grundstoff in sich fassen;

[17]) Tisserand, la question des petites planètes (Annuaire pour l'an 1891) B p 1—20 incl.

[18]) Ueber den Werth der angeblichen Voraussage der Existenz des Uranus (N. d. H. 12, 13, 29, 90 etc.) vergl. Dühring (p. 415—416): „Weniger bekannt ist der nicht sehr mechanisch gedachte Grund dieser Annahme, dass nämlich die Veränderung der Excentricitäten der verschiedenen planetarischen Körper eine Art Stetigkeit befolgen müsse. . . Nur Störungen, die nicht erklärt werden können, weisen auf einen neuen Planeten hin. Kant war aber weit von einem solchen specifisch mechanischen Schlusse entfernt geblieben und hatte sich nur einem gewissen Gefühle der Analogie und Gesetzmässigkeit in der Abfolge der Grössen der Excentricitäten überlassen, die thatsächlich nicht einmal dieser fingirten Regelmässigkeit entsprechen."

[19]) N. d. H. p. 101 Anmerkung 18.

3) weil aus eben dem letzten Grunde der Raum zwischen den zwei Flächen der grössten Abweichung, bei gleicher Anzahl Grade, in grossen Höhen grösser als in kleinen ist". Die Abweichungen von der Regel, z. B. dass Mars eine kleinere Masse als die Erde hat, wird dadurch erklärt, dass des benachbarten mächtigen Jupiter Attraction prävalirte und so eine grosse Menge Partikeln dem Mars weggefangen wurden. Dies würde allerdings voraussetzen, dass Jupiter sich früher bildete als der Mars, oder dass seine Masse schon von Anfang an eine die andern übertreffende Anziehung ausübte, aber die Reihenfolge in der Entstehung der Planeten wird in der Kant'schen Theorie nicht festgesetzt, sie ist dem Zufall unterworfen.

Hiemit ist die Theorie der Entstehung der Bahnverhältnisse und Körper der Planeten vollendet. Wir sind Schritt für Schritt Kant in seinen Deductionen gefolgt und sahen, dass eine erhebliche Anzahl unzweifelhaft irrthümlicher neben einigen äusserst unklaren und nicht mechanischen Anschauungen sich vorfanden, so dass dieser erste Theil in Kant's Fassung nicht einmal von nur rein mechanischem Standpunkte aus aufrecht erhalten werden kann. Dies leuchtet noch mehr ein, wenn wir jetzt auf die Gesammtheit desselben einen Blick werfen.

Im Anfange war alle im Weltenraume vorhandene Materie in einer Staubwolke vereinigt, sie repräsentirte also die gesammte Energie des Weltalls. Die Theilchen unterlagen gegenseitigen Anziehungen, bildeten also ein freies System von materiellen Punkten und für dieses gilt das Princip von der Erhaltung der Flächen, wobei zu bemerken ist, dass die Flächenconstante unverändert bleibt, falls ein Theil der Partikeln zusammenstösst. Ein bestimmter Richtungssinn war nicht vorherrschend nach Kant's Annahme, es sind also dieselben positiven Geschwindigkeiten ebenso wahrscheinlich wie die negativen, es muss somit

$$\Sigma m_i \left\{ y_i \frac{dz_i}{dt} - z_i \frac{dz_i}{dt} \right\} = \Sigma m_i \left\{ z_i \frac{dx_i}{dt} - x_i \frac{dz_i}{dt} \right\} = \Sigma m_i \left\{ x_i \frac{dy_i}{dt} - y_i \frac{dx_i}{dt} \right\} = 0$$

sein, da über alle Partikeln summirt wird.

Betrachten wir das System, wie es jetzt nach Bildung der Planeten ist. Jetzt haben die Geschwindigkeiten z. B. bei den Planeten alle denselben Richtungssinn, es ist also jetzt nicht mehr obige Gleichung giltig, sondern die Flächenconstanten haben von Null verschiedene Werthe, sie haben also mit der Zeit ihre Werthe geändert, ohne dass andere Kräfte wirkten, als die von Anfang an vorhandenen. Es wäre auch nicht möglich, dass neue Kräfte hinzukämen, da ja das System alle im Weltenraume vorhandene Energie repräsentirt, die vorhandene ist aber nach dem Gesetze von der Erhaltung der Energie constant, somit muss die Voraussetzung falsch sein, im Systeme musste von Anfang an eine Bewegungsrichtung die vorherrschende sein. Dies sahen ausser Zöllner[20]) auch Alle ein, die sich mit der Kant'schen Cosmogonie beschäftigten: Helmholtz,[21]) Dühring,[22]) Newcomb,[23]) Faye,[24]) Braun,[25]) Wolf[26]) etc. und die Theorien von Laplace und neuerer Autoren (Faye, Braun etc) haben diesen Fehler vermieden, indem schon der Urmaterie eine Rotationsbewegung beigelegt wurde.

Kant's Erklärung der Entstehung der Bewegungen in dem Weltsysteme ist somit völlig verfehlt, indem er dieselben als Folge der Wirkung der inneren Kräfte hinstellt, was durchaus unmöglich ist. Inwieweit Kant diese mechanischen Gesetze geläufig sein konnten, gegen die er Fehler begeht, wird später untersucht.

Im Anschluss an diesen ersten Theil sei erwähnt, dass man in vielen neueren cosmogonischen Hypothesen wieder auf die Kant'sche Annahme zurückgekommen ist, indem man die Urmaterie in Gestalt einer Meteoritenwolke betrachtet. Besonders in letzter Zeit hat Lockyer diesen Kant'schen Gedanken wieder aufgegriffen.

Ohne näher auf sie hier einzugehen, was zu weit führen würde, mögen hier ihr Grundgedanke[27]) und die Untersuchungen von Darwin[28]) über dieselbe mitgetheilt werden, da es für die Kritik der Kant'schen Theorie von Interesse ist. Den Hauptsatz seiner Theorie (p. 527) fasst Lockyer so zusammen: „1) All self-luminous bodies in the celestial spaces are composed either of swarms of me-

---

[20]) Phot. Unt. p. 225.

[21]) Vorträge 1871, B II, p. 119.

[22]) p. 415.

[23]) Newcomb-Engelmann, Populäre Astron. p, 575.

[24]) p. 135.

[25]) p. 37.

[26]) p. 9 u. 19.

[27]) Lockyer, the Meteoric hypothesis. London 1890. Auszüge im Bull. astr. tom. V, p. 408 ff; VIII p. 225—265.

[28]) Darwin, on the mechanical conditions of a Swarm of Meteorites and on theories of Cosmogony. (Philosoph. Transact. of the Royal Society 1889 B 180 p. 1—69.)

teorites or of masses of meteoric vapour produced by heat. The heat is brought about by the condensation of meteor-swarms due to gravity, the vapour being finally condensed into a solid globe." Darwin untersucht nun, wie aus einem solchen Meteorschwarme sich die Weltkörper haben bilden können, d. h. er verfolgt den Vorgang nur soweit, bis er zu dem rotirenden, glühenden Gasball von Laplace kommt.

Es sollen hier kurz seine Resultate (p. 60—69) mitgetheilt werden. Die Meteore werden als elastisch vorausgesetzt, die Aufgabe wird analog einem Probleme der kinetischen Gastheorie behandelt, die Berechtigung dazu weist Darwin nach. Die Meteore sind in concentrischen Kugelschichten mit gleicher Dichtigkeit so vertheilt, dass die Dichtigkeit der Wolke gegen das Centrum hin zunimmt. Der Schwarm zieht sich zusammen, ein Theil der vorhandenen Energie wird nun verausgabt zur Vergasung der festen Massen und zur Erhitzung der Gase, die durch den Zusammenstoss der Meteore hervorgebracht wurden. Die so entstandene Hitze wird durch Strahlung nach und nach verloren. Die Bahnen der Meteore selbst in der Wolke sind nahezu geradlinig, ausser wenn sie durch einen Zusammenstoss mit einem anderen plötzlich abgelenkt werden. Am Aussenrande der Wolke sind die Zusammenstösse seltener, die Meteore beschreiben hier unter dem Einflusse der Gravitation Bahnen, welche nahezu ein Kegelschnitt sind. Durch alle Entwicklungsstufen eines Schwarmes ist eine Art Verdampfung vorhanden, durch welche der Schwarm sich nach und nach in einen Ball umwandelt, diese Auflösung wird aber mehr oder weniger durch die Condensation im Gleichgewicht gehalten. In den ersten Entwicklungsstufen überwiegt der Gewinn bei der Condensation den Verlust bei der Verdampfung, darauf sind beide nahezu gleich, endlich wird die Verdampfung eine stärkere sein als die Condensation. Die Meteore haben sich nach und nach so geordnet, dass die grösseren näher beim Centrum sich befinden. Im Schwarm selbst herrscht ein zähflüssiger Zustand, der umso stärker ist, je weiter der Schwarm diffundirt. Ein stark ausgebreiteter Schwarm wird also, wenn er in Rotation kommt, nahezu rotiren wie ein starrer Körper. Bei weiterer Entwicklung genügt diese Plasticität dann nicht mehr, die gleichförmige Rotation zu sichern, die centralen Theile werden schneller als die äusseren rotiren. Nach und nach wird der grössere Theil der Meteore absorbirt sein durch die Centralsonne und ihre Planeten, die übrigen werden sich in Wolken mit geringer Geschwindigkeit bewegen. Dies ist der Process in den Grundzügen, es ist jetzt der Zusammenhang mit der Laplace'schen Theorie hergestellt. Man sieht also, wie es von vornherein klar war, dass eine Entwicklung, wie Kant sie sich dachte, durchaus unmöglich ist, wegen der bei den Zusammenstössen entstehenden ungeheuren Wärme und der infolge davon vor sich gehenden Verdampfung der Materie, es werden sich die Planeten eben erst aus dem glühenden Gasball bilden können, nicht wie Kant will, direct aus den herumschwebenden Massenpartikeln. Dies ist für unsere Untersuchung das wichtigste Resultat.

Entstehung der Monde und der Rotation der Planeten.

(N. d. H. p. 34—41).

Aus den Annahmen über den Urstoff und seine Zustandsänderung bei der Entstehung der Planeten wird ferner nun die Bildung der Monde deducirt, sie ist ein Anologon zu der der Planeten, nur dass eben hier nicht die Sonne, sondern der Planet der thätige Centralkörper ist. In Betreff der Einzelheiten verweise ich auf VII. Sogar Zöllner[1]) gibt zu, dass diese Stelle in hohem Grade unklar, die Theorie aber falsch sei (ebenso Faye[2]), Wolf[3]), indem sie zu einer rückläufigen Bahnbewegung der Monde führe. Zum Theil ist obige Stelle unverständlich, man braucht nur die beiden fett gedruckten Sätze zu vergleichen, deshalb darf man sich nicht wundern, dass Kant bei einer solchen Unklarheit auch zu falschen Resultaten kommt. Die Richtung der Bahnbewegung hängt zunächst davon ab, ob die betreffenden Partikeln, aus denen sich die Monde formiren sollen, dieselbe oder nicht dieselbe Winkelgeschwindigkeit, wie der centrale Planet gehabt haben. Nun können nach den früheren Erwägungen, dass alle Theilchen in freien Bahnen nach den Kepler'schen Gesetzen sich um die Sonne bewegen, dieselben gar nicht die gleiche Winkelgeschwindigkeit wie der Planet gehabt haben.[4]) Doch untersuchen wir von Anfang an, welche Resultate Kant's Mondentstehungs-

[1]) Phot. Unt. p. 224.

[2]) p. 138.

[3]) p. 12.

[4]) Zöllner (Phot. Unt. p. 225 u. 230) sagt, dass die Kant'sche Theorie die Mondbewegung richtig gebe, „sobald man nur den von der Sonne weiter abstehenden Theilchen eine grössere Lineargeschwindigkeit als den näheren beilegt". Dies ist zutreffend; sobald man aber diese Correction macht, kommt man mit den Grundvoraussetzungen in Conflict, da eben Körper, die sich nach den Kepler'schen Gesetzen bewegen, eine grössere oder kleinere Lineargeschwindigkeit haben, je näher oder ferner sie der Sonne sind. Man verlässt also den Boden der Kant'schen Theorie.

theorie ergibt. Wir denken uns einen Schwarm von Partikeln, die sich in Kreisbahnen nach den Kepler'schen Gesetzen um die Sonne bewegen; die einzelnen Theilchen werden keine grosse Anziehung auf einander ausüben, man kann deshalb annehmen, dass die Bahntangenten einander parallel sind. In der gleichen Ebene und Bahn bewege sich ein Planet in einem Kreise um die Sonne. Um nun die Modification der Bahnen der Theilchen unter seiner Einwirkung zu finden, schlagen wir das Verfahren ein, welches Laplace[5]) zur Bestimmung der Bahn eines einem Planeten sehr nahekommenden Cometen angab. Das Meteor μ habe die rechtwinkligen heliocentrischen Coordinaten $x\ y\ z\ r$, der Planet m: $x_1\ y_1\ z_1\ r_1$. Die Coordinaten von μ in Bezug auf m seien $\xi = x - x_1$, $\eta = y - y_1$, $\zeta = z - z_1$, $\rho^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2$; es gelten also für die Bewegung des Meteores μ um den Planeten die Differentialgleichungen:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + k^2\,(m+\mu)\,\frac{\xi}{\rho^3} = k^2\left(\frac{x_1}{r_1^{\,3}} - \frac{\xi + x_1}{r^3}\right)$$

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} + k^2\,(m+\mu)\,\frac{\eta}{\rho^3} = k^2\left(\frac{y_1}{r_1^{\,3}} - \frac{\eta + y_1}{r^3}\right)$$

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} + k^2\,(m+\mu)\,\frac{\zeta}{\rho^3} = k^2\left(\frac{z_1}{r_1^{\,3}} - \frac{\zeta + z_1}{r^3}\right)$$

Da $\xi\ \eta\ \zeta$ sehr klein sind, und nahezu $r = r'$ ist, können wir $\frac{\xi}{r^3}$ etc. $\frac{\zeta}{r^3}$ vernachlässigen und $\frac{x_1}{r_1^{\,3}} = \frac{x_1}{r^3}$ setzen etc., damit erhalten wir:

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + k^2\,(m+\mu)\,\frac{\xi}{\rho^3} = 0$$

Das Partikelchen bewegt sich um den Planeten in einem Kegelschnitte. Um ihn zu specialisiren, müssen wir die Anfangsgeschwindigkeit kennen, mit der das Meteor in die Attractionssphäre des Planeten kommt. Da der Planet eine Kreisbahn um die Sonne, deren Masse 1 sei, beschreibt, so ist seine lineare Geschwindigkeit

$$v' = \frac{k\sqrt{1+m}}{\sqrt{r_1}},$$

die des Meteor μ

$$v = \frac{k\sqrt{1+\mu}}{\sqrt{r}}.$$

Setzt man

$$r_1 = r + \Delta;$$

so ist stets

$$\frac{\Delta}{r_1} < 1; \qquad v = \frac{k\sqrt{1+\mu}}{\sqrt{r_1}}\left\{1 - \tfrac{1}{2}\frac{\Delta}{r_1} + \ldots\right\}.$$

Sei nun V die Anfangsgeschwindigkeit des Meteors gegen den Planeten, so ist, wenn man die beiden Massen gegenüber der Sonnenmasse vernachlässigt,

$$V = v - v' = -\frac{k}{\sqrt{r_1}}\left\{\tfrac{1}{2}\frac{\Delta}{r} + \ldots\right\}.$$

Höhere Potenzen von $\frac{\Delta}{r_1}$ sind zu vernachlässigen, da z. B. für den äussersten Jupitermond $\frac{\Delta}{r_1}$ kleiner als $\frac{1}{400}$ ist.

Ferner ist

$$V^2 = \frac{k^2\,\Delta^2}{4\,r_1}.$$

Soll nun μ sich in einer Ellipse bewegen, so muss

$$V^2 < \frac{2k^2\,(m+\mu)}{\rho}$$

sein, oder da

$$\rho \geqq \Delta \qquad \frac{k^2\,\Delta^2}{4\,r_1^{\,3}} < \frac{2\,k^2\,(m+\mu)}{\Delta} \text{ oder } m + \mu > \tfrac{1}{8}\left(\frac{\Delta}{r_1}\right)^3.$$

---

[5]) Laplace Méc. cél., liv. IX, chap. 2.

Für μ kommen in unserem Planetensysteme nur verschwindend kleine Werthe in Betracht, da die Monde im Vergleich zu ihrem Hauptkörper äusserst klein sind. Es müsste also Δ erheblich gross sein, für Jupiter z. B. dessen $lg\, m = 6.9798-10$, $r_1 = 777$ Mill. Km. müsste $\Delta > 153$ Mill. Km. sein, der äusserste Trabant ist aber nur 1.9 Mill. Km. entfernt.

Es werden somit alle Theilchen, die für die Bildung der Monde in Betracht kommen könnten, Hyperbeln beschreiben, was nach Schiaparelli's Untersuchungen über die Bahnen der sich der Erde nähernden Meteore vorauszusehen war. Wie aber schon erwähnt, würden die Theilchen, selbst wenn sie Ellipsen beschrieben, rückläufige Bewegung haben, also die Bildung rückläufiger Monde veranlassen.

Auch die Erklärung, warum die Bahnen der Monde alle nahezu in eine Ebene fallen, wie Kant meinte, hat eben dieselbe Schwierigkeit, wie die der analogen Thatsache bei den Planeten; man sieht eben nicht ein, warum sich die Partikeln nach und nach so bewegen sollen, dass ihre Gesammtheit den Anblick einer nicht zu dicken Scheibe gewährt. Die Scheibe aus discreten Theilchen, die sich um die Sonne bewegt und in der die Planeten sich bilden, wird doch gewiss eine Höhe gehabt haben, die bedeutend grösser, als der Durchmesser der Planeten ist. Die Bewegungen und Bahnlagen [gegen die Ekliptik] der uns bekannten Monde bilden überhaupt gar nicht eine so einheitliche Gruppe von Erscheinungen, wie etwa die der Planeten, nur der Mond der Erde und die des Jupiter haben geringe Neigungen, während bei den Monden des Uranus und Neptun z. B. sehr starke vorhanden sind. Es würde also, wenn überhaupt die Erklärung, wie sie Kant gibt, richtig wäre, die Lage der Bahnebenen der Monde gar nicht jenen von Kant angeführten Process benöthigen. — In gleicher Weise als durchaus verfehlt zu bezeichnen ist die Theorie der Entstehung der Rotation der Planeten und der Neigungen der Rotationsaxen. Auch die Rotation der Planeten müsste nach seinen Principien rückläufig sein. VIII gibt die betreffende Stelle. Um auch hier wieder die Sache genau zu übersehen, untersuchen wir die Aenderung der Rotationsverhältnisse eines Planeten, wenn er von einem Meteore getroffen wird, nach den schönen Vorschriften, die Herr Professor Seeliger in seinen Vorlesungen gab.

Dazu gehen wir von den Gleichungen (9) *p.* 133 [Oppolzer, Lehrbuch I, 2. Auflage] aus, lassen aber die dort fortgefallenen Glieder zunächst noch stehen. Wenn keine äusseren Kräfte vorhanden sind, ist:

$$\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}\,\Sigma\, m\left[x'^2\left(a\frac{da'}{dt}-a'\frac{da}{dt}\right)+y'^2\left(b\frac{db'}{dt}-b'\frac{db}{dt}\right)+z'^2\left(c\frac{dc'}{dt}-c'\frac{dc}{dt}\right)\right.\\
&\quad+\frac{d}{dt}\,\Sigma\, m\,x'\,y'\left[a\frac{db'}{dt}+b\frac{da'}{dt}-a'\frac{db}{dt}-b'\frac{da}{dt}\right]\\
&\quad+\frac{d}{dt}\,\Sigma\, m\,y'\,z'\left[c\frac{db'}{dt}+b\frac{dc'}{dt}-c'\frac{db}{dt}-b'\frac{dc}{dt}\right]\\
&\quad+\frac{d}{dt}\,\Sigma\, m\,x'\,z'\left[a\frac{dc'}{dt}+c\frac{da'}{dt}-a'\frac{dc}{dt}-c'\frac{da}{dt}\right]=0
\end{aligned}$$

Mittelst der Gleichungen (*p*) *p.* 132 transformiren wir die Coefficienten:

$$\frac{d}{dt}\,\Sigma\, m\left\{x'^2(b''q+c''r)+y'^2(a''p+c''r)+z'^2(a''p+b''q)-y'z'(b''r+c''q)-x'z'(c''p+a''r)-x'y'(a''q+b''p)\right\}=0$$

Setzt man

$$\begin{aligned}
&A=\Sigma m(y'^2+z'^2),\quad B=\Sigma m(z'^2+x'^2),\quad C=\Sigma m(x'^2+y'^2),\\
&F=\Sigma m\,y'z',\quad G=\Sigma m\,x'z',\quad H=\Sigma m\,x'y',\\
&P=pA-rG-qH,\quad Q=qB-pH-rF,\quad R=rC-qF-pG
\end{aligned}$$

integrirt und bezeichnet die Integrationsconstanten mit

$$M_0=\Sigma m\left(y'\frac{dz'}{dt}-z'\frac{dy'}{dt}\right)_0,\quad M'_0=\Sigma m\left(z'\frac{dx'}{dt}-x'\frac{dz'}{dt}\right)_0,\quad M''_0=\Sigma m\left(x'\frac{dy'}{dt}-y'\frac{dx'}{dt}\right)_0$$

so haben wir:

$$\begin{aligned}
Pa+Qb+Rc&=M_0\\
Pa'+Qb'+Rc'&=M'_0\\
Pa''+Qb''+Rc''&=M''_0
\end{aligned}$$

Wählt man nun die Hauptträgheitsaxen als Coordinatenaxen, so ist $F=G=H=0$ und

$$\begin{aligned}
Ap&=aM_0+a'M'_0+a''M''_0=N_0\\
Bq&=bM_0+b'M'_0+b''M''_0=N'_0\\
Cr&=cM_0+c'M'_0+c''M''_0=N''_0
\end{aligned}$$

Bei einem Zusammenstosse mit einem Meteore ändern sich die Integrationsconstanten $N_0\ldots$ um $\delta N\ldots$ die p, q, r, um $\delta p\ldots$, die A, B, C um $\delta A\ldots$ sprungweise, und zwar ist:

$$\left.\begin{aligned} \delta A &= \mu (y'^2 + z'^2) \qquad & \delta p &= \frac{\delta N_0 - p_0 \delta A}{A} \\ \delta B &= \mu (z'^2 + x'^2) \qquad & \delta q &= \frac{\delta N'_0 - q_0 \delta B}{B} \\ \delta C &= \mu (x'^2 + y'^2) \qquad & \delta r &= \frac{\delta N''_0 - r_0 \delta C}{C} \end{aligned}\right\} \quad 1)$$

Eine Aenderung der Trägheitsmomente hat nun auf die Rotationselemente einen sehr geringen Einfluss[6]), man wird sie deshalb hier als constant betrachten können. Da bei der Erde zwei Trägheitsmomente nahezu gleich sind, können wir $A = B$ setzen und haben dann

$$1a) \quad \delta p = \frac{\delta N_0}{A}, \quad \delta q = \frac{\delta N'_0}{A}, \quad \delta r = \frac{\delta N''_0}{C}.$$

Die resultirende Rotationsgeschwindigkeit ist definirt durch $\omega_0^2 = p_0^2 + q_0^2 + r_0^2$ (der Index o deutet an, dass die Werthe für den Zustand vor dem Zusammenstoss gelten).
Die Aenderung derselben:

$$\delta \omega = \frac{p_0 \delta p + q_0 \delta q + r_0 \delta r}{\omega_0} \qquad 2)$$

Die p_0, q_0, r_0 sind wie bekannt:

$$\begin{aligned} p_0 &= a_0 \cos (\lambda_0 t + \beta) \\ q_0 &= a_0 \sin (\lambda_0 t + \beta) \\ \omega_0^2 &= a_0^2 + r_0^2 \\ \lambda_0 &= \frac{C - A}{C} r_0. \end{aligned}$$

Die Winkel α β γ zwischen der momentanen Drehaxe und den x' y' z' Axen des mit dem Körper fest verbundenen Systemes sind bestimmt durch die Gleichungen:

$$\cos \alpha_0 = \frac{p_0}{\omega_0}, \quad \cos \beta_0 = \frac{q_0}{\omega_0}, \quad \cos \gamma_0 = \frac{r_0}{\omega_0}, \quad \sin \gamma_0 = \frac{a_0}{\omega_0}$$

Die Aenderungen der Periode λ, der Amplitude a des Euler'schen Cyclus und des Winkels γ sind also:

$$\delta \lambda = \frac{C - A}{C} \delta r \qquad 3)$$

$$a_0 \delta a = p_0 \delta p + q_0 \delta q \qquad 4)$$

$$\delta \gamma = \gamma_0 \left(\frac{\delta a}{a_0} - \frac{\delta \omega}{\omega_0} \right). \qquad 5)$$

Hierdurch ist die Aenderung der Lage der Rotationsaxe gegen das im Körper feste, im Raume bewegliche System gegeben.

Die Lage der Rotationsaxe im Raume bestimmt man dadurch, dass man sie auf eine invariable Ebene bezieht; n sei der Winkel der Axe mit der Normale der invariablen Ebene, so ist folgende Relation mit genügender Genauigkeit geltend:

$$n = \frac{C - A}{C} \gamma_0, \text{ somit die Aenderung von } n \qquad \delta n = \frac{C - A}{C} \delta \gamma. \qquad 6)$$

Kennt man die N_0, N_0', N_0'', so ist mittelst 1) bis 6) die Aenderung der Rotations-Elemente gegeben. Die Variationen der M_0 M_0' M_0'' sind aber unmittelbar bekannt.[7]) Sind nämlich ξ' η' ζ' die Coordinaten des Meteores μ bezogen auf den Schwerpunkt X_0 Y_0 Z_0 des Planeten m_0 vor dem Zusammenstoss; x_0' y_0' z_0' die eines Punktes von m_0 bezogen auf denselben Schwerpunkt; x' y' z' die Coordinaten dieses Punktes bezogen auf den Schwerpunkt X Y Z der vereinigten Massen nach dem Zusammenstoss, so ist, falls man setzt $\Sigma m_0 = M_0$, $\Sigma m_0 + \mu = M$:

$$\delta M_0'' = \Sigma m [x' y'] - \Sigma m_0 [x_0' y_0'] = \mu [\xi \eta] - M [X Y] + M_0 [X_0 Y_0] = \mu \frac{M_0}{M} [\xi' \eta'].$$

Wir haben also jetzt in Coordinaten bezogen auf den Schwerpunkt des Planeten vor dem Zusammenstoss:

$$\delta M_0 = \mu \frac{M_0}{M} \left(\zeta' \frac{d\xi'}{dt} - \xi' \frac{d\zeta'}{dt} \right), \quad \delta M_0' = \mu \frac{M_0}{M} \left(\eta' \frac{d\zeta'}{dt} - \zeta' \frac{d\eta'}{dt} \right), \quad \delta M_0'' = \mu \frac{M_0}{M} \left(\xi' \frac{d\eta'}{dt} - \eta' \frac{d\xi'}{dt} \right);$$

Ein Meteor nun, das in die Attractionssphäre eines Planeten kommt, wird, wenn es eine parabolische heliocentrische Geschwindigkeit hatte, um den Schwerpunkt des Planeten im Allgemeinen

[6]) Tisserand, Méc. cél. II., p. 486 ff.
[7]) Seeliger, Zusammenstösse etc., p. 9.

eine Hyperbel beschreiben; die $\xi' \eta' \zeta'$ und ihre Differentialquotienten sind also aus jener Hyperbel zu berechnen. Da es sich hier aber nur um eine ungefähre Abschätzung des Betrages der Veränderungen der Rotationselemente infolge von Stössen handelt, sollen nur zwei extreme Fälle behandelt werden. Das Meteor fällt so, 1. dass es die Erde in der Aequatorebene tangirt; 2. dass es sie senkrecht zu jener tangirt. Die Geschwindigkeit des Meteors μ sei v, der Aequatorialhalbmesser der Erde R, der Sterntag in Secunden $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$, seine Aenderung also

$$\delta T = -\frac{2\pi}{\omega_0^2}\,\delta\omega = -\frac{T_0^2}{2\pi}\,\delta\omega \qquad (7$$

Die Trägheitsmomente der Erde M seien

$$A = A_0 R^2 M, \quad C = C_0 R^2 M, \quad A_0 = 0.3310 \quad T_0 = 86400\ sec.$$
$$C_0 = 0.3321 \quad R = 63774\ km.$$
$$\frac{C-A}{C} = 0.003272. \quad \gamma_0 = \frac{1''}{15}$$

1. Fall:
$$x' = R, \quad y' = z' = 0 \qquad \delta N_0 = \delta N_0' = 0$$
$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dz'}{dt} = 0, \quad \frac{dy'}{dt} = v \qquad \delta N_0'' = R\mu v$$

Die p_0 q_0 sind r_0 gegenüber verschwindend, man kann sie vernachlässigen

$$p_0 = q_0 = a_0 = 0, \quad r_0 = \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$
$$\delta\omega = \delta r = \frac{\mu}{M}\frac{v}{C_0 R}, \quad \delta\lambda = \frac{C-A}{C}\,\delta r, \quad \delta T = -\frac{T_0^2}{2\pi}\,\delta\omega$$
$$\delta T = -v\left(\frac{\mu}{M}\right)[5.7490], \quad \delta\lambda = v\left(\frac{\mu}{M}\right)[4.1886 - 10]$$

Um einen Begriff von der Grösse der niederfallenden Masse zu geben, nehmen wir für v den extremen Werth 750 km, dann muss, falls man die Erdmasse rund 6.10^{24} kg setzt, $\mu = 4.10^{11}$ kg sein, damit die Uhr in einem Jahrhundert um 1 Secunde vorgeht.

Man sieht, dass die auffallende Masse trotz der extremen Bedingungen doch enorm gross sein muss, um die Rotationsdauer und die Periode des Euler'schen Cyclus um eine sehr kleine Grösse zu ändern.

2. Fall:
$$x' = z' = 0 \quad y' = R$$
$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dy'}{dt} = 0 \quad \frac{dz'}{dt} = v \quad \delta N_0 = \mu R v., \quad \delta q = \delta r = 0$$

Wir wählen für p_0 den Maximalwerth $p_0 = a_0$, somit $q_0 = 0$. Dann ist

$$\delta T = \frac{-T_0^2\gamma_0}{A_0 2\pi R}\,v\left(\frac{\mu}{M}\right) = -v\left(\frac{\mu}{M}\right)[9.2600 - 10]$$
$$\delta a = v\left(\frac{\mu}{M}\right)\frac{1}{A_0 R}$$
$$\delta\gamma = \frac{T\,\delta a}{2\pi} + \frac{\delta T\gamma_0}{T_0}, \quad \delta\gamma'' = v\left(\frac{\mu}{M}\right)[6.1284]$$
$$\delta n = \frac{C-A}{C}\,\delta\gamma \quad , \qquad \delta n'' = v\left(\frac{\mu}{M}\right)[3.6496].$$

Damit in einem Jahrhundert $\delta T = 0^s.001$ wäre, müsste $\mu = 12.10^{14}$ kg sein, und damit $\delta n = 0'',000001$ wird, müsste $\mu = 21.0^{12}$ kg sein. Diese Zahlenangaben haben übrigens keinen reellen Werth, sondern dienen nur zur Veranschaulichung der Verhältnisse, bei Ausführung einer derartigen Rechnung müsste man strenge Formeln benutzen, auch die Aenderungen der Trägheitsmomente berücksichtigen.

Der Werth für die Geschwindigkeit des auffallenden Meteors war im Vorigen äusserst gross angenommen; für den Ort, wo das Meteor hinfällt, waren die extremsten Fälle gewählt worden; bedenkt man nun noch, dass, wenn der Planet in eine Wolke von Meteoren kommt, dieselben von allen Seiten auffallen werden, sich also die Wirkungen stark compensiren werden, so sieht man, dass eine Erklärung der Entstehung der Rotation und der Abweichung der Rotationsaxe von der Senkrechten zur Bahnebene, wie sie Kant gibt, wenn nicht ganz unmöglich, so doch äusserst unwahrscheinlich ist. Der Fehler, den er begeht, ist der, dass er den Planeten zuerst sich bilden und dann erst Rotation bekommen lässt; geht beides

Hand in Hand, so ist die Erklärungsweise nicht so ganz unmöglich. Es tritt nämlich in allen obigen Formeln der Factor $\frac{\mu}{M}$ auf, ist M noch sehr klein, so wird μ sehr gross sein müssen, damit der Planet die heutige Grösse bekommt, man muss ferner auch noch annehmen, dass die Meteorwolke nicht gleichmässig dicht und die Meteore selbst verschiedene Geschwindigkeiten haben, da sich sonst die Wirkungen compensiren könnten. Dass übrigens nach seiner Darstellung die Planeten sämmtlich eine rückläufige Rotation haben müssten, ist aus dem Citat sofort zu ersehen und bereits erwähnt, da die auffallenden Meteore eine rückläufige Bewegung, wie die Monde, haben. Aber Kant gibt noch einen anderen Erklärungsversuch für die Entstehung der Rotationsaxenneigungen, er beruft sich auf geologische Processe: Hebungen und Senkungen grosser Theile der Erdoberfläche. So bemerkenswerth es ist, dass Kant wusste, dass solche Vorgänge die Rotationsverhältnisse beeinflussen können, so ist doch diese Erklärung noch mehr als die erste anzuzweifeln. Es sind nämlich Abschätzungen gemacht worden,[8]) eine wie grosse Veränderung der Axenlage z. B. die Hebung eines ganzen Continentes wie Asien hervorbringen würde. Diese sind minimal, und ausserdem compensiren sie sich auch noch zum grossen Theil, so dass diese Erklärungsart sicherlich ganz zu verwerfen ist.

Theorie der Saturnringe.

(N. d. H. p. 41—53.)

Zu den Theilen der Kant'schen Cosmogonie, die mit am höchsten geschätzt werden, sowohl von ihm selbst,[1]) als auch von späteren Schriftstellern, gehört die Theorie der Saturnringe und die Bestimmung der Rotationszeit des Saturn selbst, aus dem Ringe. Zöllner[2]) feierte sie sehr und noch jüngst schreibt Herr Ebert[3]): „Welcher Exactheit seine allgemein gehaltenen Betrachtungen aber dennoch fähig sind, dafür gibt die Berechnung der Rotationszeit der Saturnringe[4]) das glänzendste Beispiel etc.[5])" Dass gerade dieser Theil so gepriesen wird ist in hohem Masse verwunderlich aus mannigfaltigen Gründen, die im folgenden dargelegt werden sollen. Zunächst hängt die Theorie der Saturnringe gar nicht mit seiner übrigen Theorie zusammen, wie er selbst ausdrücklich betont (N. d. H. p. 51—52), indem er die Ringe nicht aus der ursprünglichen Urmaterie entstehen lässt, sondern durch Abtrennen vom Planeten, nachdem dessen Bildung längst vollendet war.[6]) Es kommt ferner hinzu, dass die berechnete Rotationszeit bedeutend von der aus den Beobachtungen abgeleiteten abweicht, Zöllner gibt 5^h und einige Minuten als den Werth an, den er mit neueren Daten fand und er sagt, dass dies ungefähr die Hälfte der beobachteten ($10^h.24$) sei.[7]) Aber die ganze Betrachtungsweise Kant's ist überhaupt unzulässig und fast in allen Einzelheiten falsch. Wenden wir uns zunächst zu diesen. Schon die erste Annahme, dass Saturn „auf eine der kometischen Bewegung ähnliche Art etliche Umläufe mit grösserer Excentricität zurückgelegt habe und nach und nach zu einem dem Zirkel ähnlicheren Geleise gebracht worden wäre"; ist im höchsten Grade absonderlich und durchaus unzulässig. Wie soll sich denn die Excentricität einer Planetenbahn innerhalb so bedeutender Grenzen ändern? Eine Aenderung, und zwar eine periodische, findet durch die Störungen der übrigen Planeten statt, sie ist innerhalb gewisser, nicht sehr weiter Grenzen: 0.0843—0.0124 eingeschlossen, wie Laplace zuerst gezeigt hat. Es müsste also ein aussergewöhnliches Ereigniss, etwa ein Zusammenstoss mit einer sehr grossen Masse stattgefunden haben, durch den Saturn von seiner ursprünglich stark excentrischen Bahn in seine jetzige gekommen wäre. Dies ist aber unwahrscheinlich und Kant erwähnt auch nichts derartiges. Später mag er wohl das Unzulässige dieser Voraussetzung eingesehen haben, wie folgende Stelle zeigt: „Saturn sei im ersten Weltalter mit einer Atmosphäre umgeben gewesen, dergleichen man an verschiedenen Cometen gesehen, die sich der Sonne nicht sehr nähern und ohne Schweife erscheinen etc." (Dasein

---

[8]) Vergl. die Arbeiten von Darwin, Haughton, Schiaparelli etc. Eine hübsche Zusammenstellung dieser Untersuchungen findet man in „P. Schwahn, Aenderungen der Figur — und der Rotationsaxe der Erde etc." 1887.

[1]) N. d. H., p. 41, 42, 43, 45, 51 etc.

[2]) Zöllner, Phot. Unt., p. 227, 231.

[3]) Anmerkung p. 97, zu der N. d. H.

[4]) Herr Ebert hat hier auch übersehen, dass Kant nicht die Rotationszeit der Saturnringe, sondern des Saturn selbst berechnet.

[5]) Herr Wolf protestirt als der erste dagegen: „un pareil désaccord refroidit singulièrement l'admiration, que certains auteurs allemands voudraient nous faire partager au sujet de la théorie de l'anneau de Saturne."

[6]) Kant sagt (N. d. H. p. 45) zwar, wenn sich seine berechnete Rotationsgeschwindigkeit bestätigen würde, „welche Gewissheit würde die Theorie des Saturn und was für eine vorzügliche Glaubwürdigkeit würde das ganze System dadurch nicht erlangen das auf gleichen Gründen errichtet ist"; dies bezieht sich aber nur auf den Grundgedanken einer rein mechanischen Erklärungsweise, die ja der Saturnringtheorie und der übrigen Cosmogonie auch wirklich gemeinsam ist.

[7]) Phot. Unt. p. 226.

Gottes.) Die Entstehung des Ringes, wie sie Kant sich denkt, ist nun sehr dunkel und für unsere physikalischen Anschauungen unverständlich dargestellt.[8]) Ich verweise auf IX. Saturn ist als ein Rotationsellipsoid gedacht (p. 45—47), die leicht verflüchtigbaren Stoffe sind durch Erwärmung verdampft, es hat sich um ihn eine Atmosphäre gebildet, die schichtenweise dünner wird, die Abnahme findet aber jedenfalls continuirlich statt. Rotirt nun dieser Körper, so wird an einigen Punkten, wo die Centrifugalkraft die Attraction und Cohäsion der Theilchen überwiegt, die Materie vom Körper sich lostrennen, es wird also jetzt ein nahezu leerer Zwischenraum entstehen. Auf diese Art und Weise würde sich der Abtrennungsvorgang abspielen, den wir unten genauer untersuchen werden. Kant stellt es sich aber durchaus anders vor, nach ihm wird die Materie vom Körper nicht durch ein Ueberwiegen der Centrifugalkraft abgetrennt, sondern durch die Erhitzung allein, wie IX zeigt, in Uebereinstimmung mit der spätern Redaction der Hypothese.[9]) Das dies physikalisch unmöglich ist, leuchtet ein. Die Dichtigkeit in dem Dampfe kann nur continuirlich abnehmen [wenn eben nicht noch äussere Kräfte einwirken], nie sprungweise mit zunehmender Entfernung von der verdampfenden Oberfläche.

Selbst wenn man aber Kant's Anschauung hier zulässt, so stossen wir doch auf Widersprüche. Wir nehmen also mit ihm an, ein Theilchen μ ist durch die Atmosphäre, die mit dem Körper des Planeten rotirt, und in allen Theilen dieselbe Winkelgeschwindigkeit wie der Planet hat, bis zur Entfernung h vom Saturncentrum gehoben worden, plötzlich ziehe sich die Atmosphäre so zusammen, dass das Theilchen ausserhalb derselben sich mit der Geschwindigkeit ω, die es in der Atmosphäre hatte, um den Planeten bewege. Nach dem 3. Kepler'schen Gesetze muss dann, falls M die Saturnsmasse ist, $h^3 = \frac{k^2\,(M+\mu)\,T^2}{4\,\pi^2}$ sein; $T = \frac{2\,\pi}{\omega}$ ist die Rotationsdauer des Saturns und beträgt 0.4275 mitt. Tage, log M (Bessel) $= 6.4557-10$, man erhält somit $h = 15''.8$, während nach Struve für die mittlere Entfernung des Saturns der innere Halbmesser des inneren Ringes $13''.00$, der äussere desselben $17''.30$ ist. Man sieht, dass nur ein unendlich dünner Ring von Theilchen, die sich in Kreisbahnen bewegen, entstehen kann; sobald h nur ein wenig variirt, gehen die Bahnkurven sowohl nach innen als nach aussen von dem Kreisring aus gerechnet, in Ellipsen über, diese würden den Kreisring schneiden, also unstabil sein. Aber abgesehen davon, dass diese Theorie zu nichts führt, sind noch physikalische Widersprüche da. Der Saturn soll in kältere Regionen des Weltenraumes gekommen sein, nachdem sich solch ein Ring abgestossener Dämpfe um ihn gebildet hatte, der ihn begleitete. Mit der Temperaturabnahme würde sich aber einfach der Dampf wieder condensiren, der Ring sich beträchtlich zusammenziehen, da ja die Abkühlung von aussen nach innen fortschreitet, die Materie würde sich wieder mit dem Hauptkörper vereinigen, da infolge der Contraction des Ringes, die Entfernungen vom Centrum, die gerade Stabilität zuliessen, sich geändert haben. Es ist der ganze Vorgang ein Kreisprocess: Der Körper wird erhitzt, der Druck von aussen bleibt unverändert, das Volumen vergrössert sich bis zu einem Gleichgewichtszustand. Wird dieselbe Wärmemenge dem Körper wieder entzogen, so kehrt er wieder in den früheren Zustand vor der Erwärmung zurück, d. h. er wird dasselbe Volumen wieder bekommen, wenn nicht äussere Kräfte auf ihn einwirken, die das Volumen zu vergrössern streben, dies soll ja aber bei Kant eben nicht der Fall sein. Vorausgesetzt dabei ist nur, dass sich keine Materie des Körpers in den Weltenraum hinein verliert. Einer ferneren Schwierigkeit ist die Erklärung der äusserst geringen Dicke des Ringes, d. h. der Anhäufung um die Aequatorialebene des Saturn unterworfen, es gilt von ihr dasselbe, wie bei dem Analogen im Vorhergehenden.

Auf diese also durchweg unrichtigen Sätze baut sich nun seine Berechnung der Rotationszeit des Planeten auf, die soviel Bewunderung erregt hat, obwohl sie einen keineswegs mit den

---

[8]) Zöllner (Phot. Unt. p. 225) schreibt, dass Kant den Ring aus der Atmosphäre sich entstanden denkt, die sich „am Aequator in Form eines frei schwebenden Ringes abgelöst hat." Dies ist nicht richtig, wie IX zeigt, es lösen sich einzelne Theilchen ab und erst daraus entsteht nach und nach ein Ring. Deshalb ist auch p. 227, „Laplace gelangt demnach hier von denselben Principien ausgehend zu demselben Resultate wie Kant etc.", falsch.

[9]) Wie man aus IX sieht, ist die Ausdrucksweise bei Kant hier wieder so unklar, dass man darüber streiten könnte, ob Kant meinte, dass die Theilchen durch die Erwärmung allein abgerissen werden. Ersteres ist aber der gesperrt gedruckten Stelle nach wahrscheinlicher, übrigens wird später gezeigt, dass eine Entstehung des Ringes durch Wirkung der Rotation unmöglich richtig ist. In der späteren Redaction der Hypothese, 1763, führt Kant an, nachdem er gesagt hat, dass Saturn eine Atmosphäre wie die Cometen gehabt habe, „dass die Theilchen des Dunstkreises von diesen Planeten ..... aufgestiegen sind". Unter „aufsteigen" ist also wohl hier „lostrennen" zu verstehen, da ja höchstens die Theilchen zur Bildung der Atmosphäre aufsteigen konnten, dann aber nicht weiter, sondern sich loslösen mussten. Lässt man diesen Sinn des Wortes „aufsteigen" zu, so ist evident, dass unsere Auffassung oben im Texte richtig ist.

Beobachtungen harmonirenden Werth gibt. Der Gedankengang (X) ist der folgende. Ein abgestossenes Theilchen behält infolge des Trägheitsgesetzes die Bewegung bei, die es kurz vor dem Losreissen hatte, es bewegt sich mit derselben Geschwindigkeit weiter. Da nun nach Kant überall von der Saturnoberfläche, nicht blos am Aequator, Theilchen losreissen, so werden verschiedene Geschwindigkeiten vorkommen, und zwar werden die von dem Aequator ausgehenden, infolge der stärksten linearen Geschwindigkeit eines Punktes des Aequators, die grösste lineare Geschwindigkeit haben. Im jetzt bestehenden Ringe sollen aber die am inwendigen Rande befindlichen Theilchen die grösste lineare Geschwindigkeit haben, somit müssen diese vom Aequator losgerissen sein und ist ihre Geschwindigkeit also die Geschwindigkeit eines Punktes im Aequator. Die Geschwindigkeit der inneren Ringtheilchen kann ich aber aus der bekannten Umlaufszeit eines der Saturntrabanten nach dem 3. Kepler'schen Gesetze berechnen und ich erhalte somit die Rotationszeit des Saturn. Wie man sieht ist der ganze Schluss unrichtig. Es bewegen sich die Ringpartikeln in „freiem Zirkelschwunge", d. h. in Kreisbahnen nach den Kepler'schen Gesetzen, es hat also in der That ein Theilchen am innern Rande eine grössere lineare Geschwindigkeit als am äussern, dies rührt von der Bewegung unter dem Einfluss der Gravitation des Saturn her. Ein Theilchen am Saturnäquator bewegt sich aber linear schneller als ein anderes, infolge der Rotation des ganzen Planeten. Beide Geschwindigkeiten identificiren zu wollen, ist also durchaus unlogisch, da sie, durch ganz verschiedene Gründe veranlasst, ganz ungleichartig sind. Man könnte nur die Geschwindigkeit eines Theilchens nach dem Abreissen, d. h. im Momente des Vorganges selbst, solange es sich noch nicht nach den Gesetzen der Centralbewegung bewegt, mit der Geschwindigkeit eines Theilchens des rotirenden Saturn vergleichen und identificiren. Die Geschwindigkeit eines Theilchens beim Abreissen ist eine ganz andere als die spätere in seiner elliptischen Bahn. Es braucht uns also gar nicht Wunder zu nehmen, dass die thatsächliche Rotationszeit des Saturn von der von Kant berechneten so ungeheuer abweicht, wo das ganze Verfahren Kant's so unrichtig ist; wohl muss man sich aber wundern, dass auf diesen Punkt noch Niemand aufmerksam gemacht hat, obwohl, wie schon oben hervorgehoben wurde, gerade dieser Theil der N. d. H. so vielfache Besprechung gefunden hat.

Es fragt sich nun, ob die Theorie der Entstehung des Saturnringes durch vom Hauptkörper abgeschleuderte Theilchen sich aufrecht erhalten lässt, wenn man die Unrichtigkeiten Kant's verbesssert und dies soll jetzt kurz untersucht werden.[10])

Wir nehmen dazu an, dass Saturn flüssig sei, was ziemlich wahrscheinlich ist,[11]) und er sei homogen. Dies letztere ist zwar wohl nicht möglich, da bei einer so grossen Masse immer eine Verdichtung gegen das Centrum hin existiren wird, wir machen aber diese Voraussetzung, da sich sonst die Aufgabe ohne Kenntniss des Gesetzes der Zunahme der Dichtigkeit kaum lösen lassen dürfte, auch handelt es sich hier nur darum, einen Ueberblick über die Verhältnisse zu bekommen, nicht präcise Aufstellungen zu machen. Saturn sei ausserdem ein mit constanter Winkelgeschwindigkeit ω rotirendes Rotationsellipsoid, die constante Dichtigkeit sei δ, das Theilchen m habe die Entfernung r vom Centrum. Unter welchen Bedingungen wird sich nun dieses Theilchen vom Saturn abtrennen? Um dies festzustellen, benutzen wir ein Theorem von Poincaré,[12]) welches für jede beliebige, homogene, flüssige, im Gleichgewicht befindliche rotirende Masse gilt und besagt, dass das Theilchen losreissen wird, falls

$$\frac{\omega^2}{2\,\pi\,k^2\,\delta} > 1 \text{ ist.}$$

Es sei T die Umlaufzeit des Theilchens auf dem Saturn, so ist $\omega = \frac{2\pi}{T}$, v sei seine lineare Geschwindigkeit $v = \omega r = \frac{2\pi r}{T}$, die beiden Halbaxen des Saturn seien a, b, seine Masse $M = \frac{4}{3}\pi a^2 b\,\delta$, so ist also $a^2 b > \frac{3k^2 M T^2}{8\pi^2}$.

M und T schliessen wir aus den Beobachtungen, wir können also das Volumen berechnen, bis zu welchem Saturn ausgedehnt sein musste, damit das Theilchen abreissen konnte. Es werden folgende Werthe verwendet:

---

[10]) Auf noch eine Schwierigkeit ist hinzuweisen. Der Saturn hat 8 Monde, diese bildeten sich nach Kant aus der Urmaterie, die auch die Rotation des Planeten hervorbrachte, sie müssen sich also früher als der Ring gebildet haben, da dieser erst entstehen konnte, wenn Rotation vorhanden war. Nun ist aber nicht anzunehmen, dass sich eine so gleichmässige Ringfigur unter dem Einflusse der Anziehungen der Monde bilden konnte, wie der Saturnring thatsächlich ist. Diesen Umstand übersieht Kant vollständig, obgleich er wichtig genug ist.

[11]) Zöllner, Phot. Unt., p. 303.

[12]) Bulletin astr. II, p. 117, vergl. auch Tisserand Méc. cél. II p. 108.

$$T = 10^h.24,\ \log 2a'' = 2.2170,\ \log 2b'' = 2.1667 \text{ (Kaiser)},\ \log M = 6.4557 - 10,$$

und finden damit das Verhältniss $\frac{\text{Volumen bei der Abreissung}}{\text{Jetziges Volumen}} = 10.33.$

Zur Beurtheilung der fraglichen Hypothese brauchen wir die Kenntniss von a. Nun sollen aber die abgestossenen Partikeln eine elliptische Bewegung um den Saturn ausführen und dies gibt uns eine neue Bedingung:

$$v^2 < \frac{2k^2 M}{r}, \text{ also } \frac{3k^2 M T^2 r^2}{8\pi^2 a^2 b} < v^2 < \frac{2k^2 M}{r}$$

Reisst nun ein Theilchen auf der Oberfläche am Aequator ab, so ist $r = a$, somit $\frac{b}{a} > \frac{3T^2}{16\pi^2}$ und dies gibt $\frac{b}{a} > 0.00347$. Setzt man nun das jetzige Volumen des Saturn der Einheit gleich, so war es damals 10.33, somit ist a mindestens gleich 8.93, die Aequatoralhalbaxe wäre fast 9mal so gross wie jetzt gewesen; in dieser Entfernung befindet sich ungefähr der Trabant Rhea, der circa 8.8 Saturnhalbmesser vom Saturncentrum aus absteht, während ein Punkt, der in der Mitte zwischen dem inneren und dem äussern Ringrande liegt, nur circa 1.9 Saturnhalbmesser entfernt ist. Aus dieser rohen Abschätzung sieht man also, dass die Kant'sche Erklärungsweise sich nicht mit den Beobachtungen vereinigen lässt.

Wir wenden uns nun zu der Folgerung dieser Ringtheorie und untersuchen, ob man die Rotationszeit des Centralkörpers durch die Rotation des Ringes berechnen kann. Wie wir oben sahen, müssten wir die Anfangsgeschwindigkeit eines Ringtheilchens kennen, diese ist uns aber nicht gegeben. Gesetzt aber, dieselbe sei bekannt, so unterläge die Sache doch noch einem Zweifel. Sobald sich von einem rotirenden Körper Masse abtrennt, wird infolge der Massenabnahme und des Stosses beim Vorgange eine Aenderung der Rotationsgeschwindigkeit eintreten. Es sei ω die Winkelgeschwindigkeit des Planeten, $\Sigma m r^2$ sein Trägheitsmoment, μr_1^2 das eines Partikelchens, welches mit dem Planeten verbunden ist. So ist folgende Relation giltig

$$\omega\ (\Sigma m r^2 + \mu r_1^2) = \text{const.}$$

Trennt sich jetzt die Partikel ab, und wird vorausgesetzt, dass sie sich danach in derselben Entfernung r_1 und mit derselben Geschwindigkeit ω bewegt, wie beim Abreissen, so ist

$$\omega_0 \Sigma m r_0^2 + \omega \mu r_1^2 = \text{const.}$$

somit

$$\omega_0 \Sigma m r_0^2 = \omega \Sigma m r^2$$

ist nun $\Sigma m r_0^2 < \Sigma m r^2$, so ist $\omega < \omega_0$, d. h. die Winkelgeschwindigkeit hat beim Lostrennen zugenommen, damit $\omega = \omega_0$, müsste $\Sigma m r_0^2 = \Sigma m r^2$ sein, d. h. die abgetrennte Masse müsste verschwindend klein sein. Man würde also, wenn die Geschwindigkeit der abgerissenen Masse bekannt wäre, nur die Rotationszeit des Planeten vor dem Abreissen kennen, nicht aber dieselbe nach dem Processe, somit würde ich auch nicht die heutige Rotationsdauer des Saturn finden können, wenn ich die Anfangsgeschwindigkeit der innersten hellen Ringpartikeln kennen würde, da ja zwischen dem Ringe und dem Saturn noch der Florring vorhanden ist, der wohl auch aus einzelnen discreten Massentheilchen besteht. Also nicht einmal in dieser corrigirten Form würde sich die Kant'sche Rechnung rechtfertigen lassen, wenn nicht der Umstand hinzukäme, dass der Saturnring eine sehr geringe Masse hat und sich infolge davon die Rotationsdauer des Planeten äusserst wenig geändert haben würde, falls er sich abgetrennt hätte. Dies hätte Kant aber zum mindesten anführen müssen, um die Berechtigung seiner Rechnung nachzuweisen.

Kant hat aber die Ringverhältnisse noch weiter studiert und er sucht auch die Nothwendigkeit der Trennungslinien derselben darzuthun. Er behauptet, dass infolge der gegenseitigen Einwirkungen der discreten Theilchen aufeinander, schliesslich alle im gesammten Ringe dieselbe Geschwindigkeit hätten bekommen müssen, dass der Ring aber dann nicht mehr hätte stabil sein können, indem die Theilchen nicht mehr die Bedingungen der elliptischen Bewegung hätten erfüllen können. Um dies zu verhüten, seien die Trennungslinien da, infolge der leeren Zwischenräume könnten sich die Geschwindigkeiten nicht ausgleichen. Das Entstehen dieser Lücken erklärt Kant

durch die Bewegungsvorgänge selbst. In Betreff der Details verweise ich auf XI. So plausibel diese Erklärung nun auch zu sein scheint, so ist sie doch nicht zutreffend, die leeren Stellen haben eine mechanische Bedeutung, die freilich noch nicht einmal heutzutage klargelegt worden ist. Kirkwood wies in seiner „Meteoric Astronomy" 1867 p. 104, zum ersten Male darauf hin, dass, wenn sich ein Theilchen in einer der Trennungslinien befinde, seine Bewegung commensurabel mit der eines Trabanten sein würde.[13]) Die Zahlen, die er gibt, sind zu evident, als dass über diese Verhältnisse noch ein Zweifel herrschen könnte, auch wissen wir, dass bei den Asteroiden die analoge Thatsache existirt. Dass Kant übrigens die Existenz solcher Trennungslinien ganz unbekannt gewesen wäre,[14]) ist wohl kaum anzunehmen, so heisst es (N. d. H. p. 50): „Vor einigen Jahren verlautete aus London, dass ..... es geschienen habe, sein Ring sei eigentlich eine Zusammensetzung von vielen concentrischen Ringen, welche durch Zwischenräume abgesondert wären."

Lassen wir alles Irrthümliche von Kant's Theorie der Saturnringe fort, so bleibt das immerhin Interessante zurück, dass er die Ringe als aus kleinen, discreten Partikeln bestehend annahm, eine Anschauung, die nach den Untersuchungen von Maxwell, Hirn und Seeliger wohl so gut wie sicher ist.[15]) Freilich darf man sich keine Illusionen darüber machen, Kant schloss auch dies nicht aus mechanischen Gründen, sondern mehr durch eine intuitive Speculation. Zu Ende des Capitels wird noch von Kant untersucht, warum die anderen Planeten nicht auch einen Ring haben und diese Deduction ist mit denselben Mängeln, wie die obige behaftet, so dass über sie das Gleiche zu sagen ist.

Kant verwendet nun die von ihm gefundene Rotationszeit des Saturn, um seine Abplatung zu bestimmen und dies gibt ihm zu einer interessanten Bemerkung Veranlassung. Es lässt sich nämlich, wie bekannt, aus der Rotationszeit die Abplattung eines Rotationsellipsoides berechnen, wenn das Gesetz der Massenvertheilung im Innern des Körpers gegeben ist. Da man dies nicht kennt, so muss man darüber Hypothesen machen und Kant prüft zwei, die von Newton und Huygens aufgestellt wurden. Newton[16]) nimmt an, dass die Massenvertheilung eine gleichförmige, also die Dichtigkeit im ganzen Körper constant sei. Aus den gegebenen Grössen ω und M lässt sich nun die Abplattung in bekannter Weise berechnen. Kant findet sie für diese Hypothesen so bedeutend, dass man sie sicher hätte beobachten müssen, selbst zu seiner Zeit. Dies stimmt vollständig mit unseren heutigen Erfahrungen überein, indem der mit den besten Werthen von ω und M berechnete Abplattungswerth unter Zugrundelegung der Hypothese der gleichförmigen Massenvertheilung bedeutend grösser als der beobachtete ist.[17]) Kant verwirft also diese Hypothese und zieht die von Huygens vor, nach der „die Schwere im Innern des Planeten durch und durch gleich sei", d. h. die Dichtigkeit umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung sich ändert. Für dieses Gesetz findet Kant einen Werth der Abplattung, der mit den Beobachtungen zu stimmen scheint. Dass auch durch diese Hypothese nur eine Approximation erreicht sei, sah Kant ein; die Dichtigkeit im Centrum müsste nämlich unendlich sein. Immerhin ist es ihm hoch anzurechnen, dass er aus der Abplattung eines Planeten einen Schluss auf seine innere Constitution zog. Er findet die ungleichförmige Massenvertheilung vereinbar mit der Entstehung des Planeten, da sein „Klumpen dem grössten Theile seines Inhaltes nach, aus den leichtesten Materien besteht und denen von schwerer Art in seinem Zusammensatze, ehe er den Zustand der Festigkeit bekommt, die Niedersinkung zum Mittelpunkte nach Beschaffenheit ihrer Schwere .... verstattet".

---

[13]) The period of a satellite revolving at the distance 1.9238, the interior limit of the intervall: ... 10 h 50 m 16 s
One-sixth of the period of Dione 10 56 53
One-third „ „ „ „ Enceladus ... 10 59 22
One-half „ „ „ „ Mimas ... 11 18 32
One-fourth „ „ „ „ Tethys ... 11 19 36
And the period of a satellite at the distance 1.9823, the exterior limit of the intervall ... 11 28 3

[14]) Wolf p. 16 On ne peut.... refuser à Kant l'honneur ... d'avoir annoncé que l'anneau de cette planète devait se composer de zones concentriques .... à une époque où l'existence même de la grande division de Cassini lui était entièrement inconnue.

[15]) Vergl. Anmerkung 15, p. 100 in Ebert's Ausgabe der N. d. H.

[16]) Principia philosophiae naturalis mathematica, Edition Wolfers 1872 p. 395 § 11.

[17]) Tisserand, Méc. cél. II p. 94 $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{5.1}$ berechnet und $= \frac{1}{9.1}$ beobachtet.

Die Cometen.

(N. d. H. p. 29—34.)

Ueber die Rolle der Cometen in der Kant'schen Cosmogonie ist nicht viel zu sagen, sie bereiten ihr, wie überhaupt den meisten Cosmogonien, ziemliche Schwierigkeiten und die Theorie derselben ist deshalb auch weit von irgendwelcher Wahrscheinlichkeit entfernt, was übrigens Kant selbst einsah, da er sie später desavouirte und dies Capitel aus dem Auszuge aus der N. d. H., den er von Gensichen machen liess, fortliess.[1]) Es ist diese Mangelhaftigkeit aber wohl zu entschuldigen, wenn man bedenkt, dass zur damaligen Zeit, d. h. um 1755 über die physische Beschaffenheit der Cometen so gut wie gar nichts bekannt war; man wusste nur, dass sie aus sehr verdünnter Materie bestehen (N. d. H. p. 33) und dass „die Atmosphären und Schweife .... bei ihrer grossen Annäherung zur Sonne, durch die Hitze sich verbreiten". Auch die Theorie ihrer Bewegungen war nur in ihren ersten Grundlagen vorhanden in den Principien Newton's, und nach dessen Methode hatte Halley die Bahnen von circa 20 Cometen berechnet, deshalb ist auch Kant's sonderbare Bemerkung über die rückläufigen Cometen, dass bei „einigen vielleicht ein optischer Schein Anlass dazu gegeben haben möchte" (p. 33) nicht so verwunderlich. Auch noch heute sind ja viele Fragen der Cometenastronomie offene, so die Existenz von Cometensystemen, das Eindringen von Cometen aus dem stellaren Raum in das Sonnensystem, obwohl die Theorie der Bahnbestimmung vollständig ausgebildet ist und auch die Umbildung der Bahnen durch sehr grosse planetarische Störungen untersucht ist.

Einen eigentlichen Unterschied zwischen Planeten und Cometen macht Kant nicht, weil er annimmt, dass die Bahnexcentricitäten eine continuirliche Reihe von der Sonne aus nach den äusseren Körpern zu bilde, und die Excentricität das eigentlich unterscheidende Merkmal sei, somit, da diese stetig grösser würden, seien die Cometen als sehr ferne Planeten zu betrachten. Er erklärt demnach ihre Entstehung auf eine den Planeten analoge Art, obwohl ihm hier die starken Excentricitäten und Neigungen noch viel mehr Mühe verursachen, als bei den Planeten. Zur näheren Kenntnissnahme vergleiche man XII. Man sieht, es bieten sich hier genau dieselben Schwierigkeiten, wie oben: es ist nicht klar, wie aus der Wolke von einzelnen unbewegten Theilchen Bewegungen entstehen können. Legt man diesen Theilchen aber ursprüngliche Bewegung zu, so sind die Richtungen der Bewegungen nach allen Gegenden des Raumes hin gleich wahrscheinlich, es müssten Cometenbahnen unter allen möglichen Winkeln die Ebene der Planetenbahnen schneiden, speciell müssten nahe soviel rechtläufige wie rückläufige Cometen da sein, zum wenigsten würde die Existenz einer grösseren Zahl rückläufiger Cometen die Theorie einigermassen plausibel machen. Diese Hilfe, die sich Kant darbietet aus der Erfahrung, weist er aber zurück, indem er nicht an die Existenz vieler rückläufiger Cometen glaubt, sondern diese Bewegungsrichtung als auf einem blossen „optischen" Schein beruhend, ansieht. Ferner ist die Entstehung einer Centralbewegung hier noch unklarer und oberflächlicher in mechanischer Beziehung ausgeführt, wie oben. Aber auch ziemlich einseitig sind die Betrachtungen über die Bahnverhältnisse dieser Himmelskörper, indem er von Parabel- und Hyperbel-Bewegung gar nicht redet. Letztere würden auch gar nicht erklärlich sein aus den Grundannahmen, da die Partikeln eine sehr grosse Anfangsgeschwindigkeit hätten haben müssen, bevor sie in den Bereich der Sonnenattraction gelangten und dies ja bekanntlich nicht vorausgesetzt wird, wie z. B. in der Lockyer'schen Hypothese.

Wie schon oben gesagt, ist in Betreff der Cometen in der Kant'schen Cosmogonie nicht die „Gründlichkeit und das Umfassende"[2]) zu finden, und er hat gut gethan, dass er später dies Capitel mit seinen verschwommenen Anschauungen fortliess.[3])

---

[1]) Kant liess den Auszug anfertigen, nicht er hat ihn gemacht, wie Herr Ebert schreibt (p. 94—95).

[2]) Zöllner Natur der Cometen p. 463.

[3]) Zöllner (Ph. Unt. p. 223—224) sagt: „Ich lasse es hier bei der kurzen Andeutung dieses Capitels bewenden, da dasselbe nicht unmittelbar mit der Begründung der fraglichen Hypothese zusammenhängt." Dies ist nicht zuzugeben, da die Cometen infolge ihrer vielen Eigenthümlichkeiten eine wichtige Rolle spielen. Auch alle neueren Theorien haben sich ausführlich mit ihnen beschäftigt, was ihre Wichtigkeit beweist.

Capitel II.

Werth der Kant'schen Hypothese für die heutige Wissenschaft und ihr Verhältniss zu der von Laplace.

Nachdem wir die Entstehung der Körper des Sonnensystemes nach der Kant'schen Hypothese im Einzelnen verfolgt und betrachtet haben, dürfte es nicht schwer sein, ein Urtheil über ihren Werth für die heutige Wissenschaft abzugeben. Dies fällt, wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, nicht zu ihren Gunsten aus: Die Kant'sche Theorie ist für die heutige Wissenschaft nur noch von historischem Werth. Wären alle die einzelnen Irrthümer, die wir im Verlaufe der obigen Untersuchung nachgewiesen haben, nicht vorhanden, so wäre doch die Gesammtheit der Hypothesen nicht mehr dem heutigen Wissen entsprechend, da Kant die mechanische Wärmetheorie nicht zur Verfügung hatte,[1]) die bei einem Processe, wo Zusammenstösse von Körpern mit erheblichen Geschwindigkeiten stattfinden, eine hervorragende Rolle spielt. Dies zeigt deutlich die oben mitgetheilte Untersuchung Darwin's über die Lockyer'sche Cosmogonie, die ja in der Annahme des ersten Zustandes der Materie mit der von Kant übereinstimmt. Der Gang der Entwicklung des Sonnensystemes wird eben dadurch ein ganz anderer, die einzelnen herumfliegenden Partikeln bilden nicht wie bei Kant sofort ohne Uebergangsstufen die Planeten, sondern sie gehen durch die Hitze, welche infolge der Zusammenstösse hervorgebracht wird, in einen gasförmigen Zustand über, d. h., um es kurz zu sagen, in den glühendflüssigen Gasball von Laplace. Dies ist die Entwicklung, wie sie physikalischen Gesetzen nach statthaben muss. Es mag ja Darwin im Einzelnen zu specielle Voraussetzungen über die Anordnung der Partikeln, die Zunahme der Dichtigkeit des Schwarmes nach dem Centrum hin etc., gemacht haben, im Allgemeinen wird der Process aber richtig dargestellt sein und deshalb haben wir diesen Auszug hier angeführt, da er deutlich genug spricht und uns derselben Untersuchung entbindet.

Aber auch in den Einzelheiten entspricht die Kant'sche Theorie nicht unserer Erfahrung; so müssten bei consequenter Durchführung der Grundannahmen die Monde eine rückläufige Bewegung haben, die Planeten von Ost nach West rotiren etc. Die vielen oben mitgetheilten mechanischen Versehen fallen auch gewichtig in die Wagschale, wenn man den Werth der Theorie vom Standpunkte der damaligen Kenntnisse aus betrachtet. Für jene Zeiten war ja im Allgemeinen die N. d. H. eine eminente Leistung, man muss nur bedenken, mit wie geringem empirischen Materiale Kant arbeiten musste, wie verhältnissmässig gering noch die Kenntnisse in der theoretischen Astronomie waren. Damals waren noch Newton's Principien mit ihren schwerfälligen Methoden das Hauptwerk der Astronomie; Euler, d'Alembert, Clairaut hatten zwar schon einige ihrer Arbeiten publicirt, aber dies waren erst Anfänge, es kamen erst später die Untersuchungen von Lagrange und Laplace und die diese Periode der theoretischen Astronomie abschliessende, für die ganze spätere Zeit fundamentale Mécanique célèste. Immerhin ist es interessant zu sehen, ob die Irrthümer, die sich in der N. d. H. finden, hätten von Kant vermieden werden können, ob sie auch für jene Zeit den Werth der Hypothese herabdrücken, um nicht zu sagen, sie unterhalb der damaligen wissenschaftlichen Erkenntniss erscheinen zu lassen. Da wird man nun finden, dass die wichtigsten Irrthümer, nämlich die gegen die mechanischen Principien, auch damals hätten vermieden werden können. Beurtheilen wir diese nur nach der Summe der Kenntnisse, die in Newton's Principien[2]) niedergelegt sind, welches Werk das Fundament der N. d. H. ist, wie ja Kant selbst sich oft genug darauf bezieht. Das Trägheitsgesetz, gegen das Kant so oft fehlt, ist hier in sehr präciser Form ausgesprochen (Satz I p. 32); dass ein Punkt, der Centralbewegung hat, um den Centralkörper eine Bahn beschreiben muss, deren Ebene durch das Centrum geht, folgt aus Erklärung 5 (p. 52) und Lehrsatz 13 (p. 55). Dass bei einer Centralbewegung unter Einfluss der Gravitation alle Kegelschnitte als Bahnkurven auftreten können, ist § 37 (p. 78)

---

[1]) Aus den Stellen p. 39—41: „Ein Himmelskörper, welcher aus seinem ersten flüssigen Zustande in den Stand der Festigkeit übergeht" etc. und p. 46 ff. könnte man vielleicht folgern, dass Kant damit einen glühend flüssigen Zustand meinte; dies ist aber nirgends gesagt, auch spricht p. 71 „Dagegen wird der schwere und unkräftige Stoff und der Mangel dieser feuernährenden Theilchen aus den Planeten nur lichtlose und kalte Klumpen machen etc.", nicht dafür. Die Sonne hat auch die „flammende Glut" (p. 19) nach ihrer Bildung erhalten, auf welche Weise zwar, wird nicht von Kant erwähnt. Wie man sich also diesen flüssigen Zustand Kant's vorstellen soll, ist nicht zu sagen.

[2]) Edition Wolfers, Berlin 1872.

[3]) Newton nimmt eigentlich an, dass ein Comet jenseits des Saturn diese Wirkungen hervorbringe.

gezeigt. Zum Schluss sei noch erwähnt, dass auch Newton die Existenz eines Planeten jenseits des Saturn vermuthete, aber nicht auf Grund der ziemlich phantastischen Anschauung über die Stetigkeit der Zunahme der Excentricitäten, sondern aus wirklich mechanischen Gründen: (§ 30 p. 534)[3]), aus der Bewegung der Aphelien und Knoten der Planeten, so dass also hier Kant's Lehre geradezu als ein Rückschritt zu bezeichnen ist. Auch so unklare Definitionen, wie sie Kant über die ursprüngliche Staubwolke und die Repulsivkräfte gibt, durften nicht mehr zur damaligen Zeit vorkommen. Fasst man alles zusammen, so kann man sagen, dass die N. d. H. einestheils so unklar ist, dass man die Behauptungen nicht streng verfolgen kann, anderntheils aber da, wo dies möglich ist, meist zu Widersprüchen mit der Theorie und Erfahrung führt.[4])

Die einzigen, für alle Zeiten bleibenden Errungenschaften der N. d. H. sind schon in der Einleitung angeführt worden, es sind

1. Der Hauptgedanke, dass die Entstehung des Sonnensystemes auf Grund mechanischer Gesetze ohne directes Eingreifen übernatürlicher Kräfte erklärt werden kann. Kant eigen ist dieser Gedanke auch nicht, wenigstens haben vor ihm schon einige ihn ausgesprochen und ihren Entwicklungen zu Grunde gelegt, z. B. Buffon, aber eine so consequente Durchführung, eine Ausdehnung auf alle zur Zeit bekannten Eigenschaften der Planeten, eine immerhin trotz aller Mängel im Einzelnen so wahrscheinliche Ausgestaltung hatte er noch nicht erfahren und dies dürfte ein bleibendes hohes Verdienst sein, sowohl in Beziehung auf die Astronomie, als auch im Allgemeinen auf die Culturgeschichte. Newton noch nahm bei der Bahnbewegung der Planeten direct übernatürliche Kräfte in Anspruch.[5])

2. Ist es ein bleibendes Resultat der N. d. H., dass Kant darauf hinwies, dass sämmtliche Körper des Sonnensystemes einen einheitlichen Ursprung haben, d. h., dass alle Materie im Sonnensystem dieselbe ist. Die Ausdehnung dieses Satzes auf alle Himmelskörper überhaupt ist zwar höchst naheliegend, man darf aber nie vergessen, dass es nur ein Analogieschluss ist. Um ihn zu einem so sichern zu machen, wie für die Körper des Sonnensystemes, müsste man nachweisen, dass sämmtliche Fixsterne ein einziges, zusammenhängendes System bilden, so dass man also auch ihnen allen einen gemeinsamen Ursprung zuschreiben könnte. Davon sind wir aber noch weit entfernt, die Beziehungen der Fixsterne, Sternhaufen, Nebel etc. zu einander sind noch so gut wie ganz unbekannt, man weiss nicht, ob sie ein einziges System bilden, dessen Körper sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, oder ob viele derartige Systeme vorhanden sind, ja die Existenz solcher Systeme überhaupt ist zweifelhaft und Betrachtungen, wie sie Kant (N. d. H. p. 3—13) anstellt, die auf blossem Anblick des Himmels und Vergleichung der Aehnlichkeiten der Sternvertheilung mit der Vertheilung der Planeten im Sonnensysteme beruhen, dürften doch kaum geeignet sein, derartige Fragen zu lösen. Dies war der zweite der wichtigen Sätze von Kant, aber auch er ist schon implicite bei Buffon enthalten, wenigstens für das Planetensystem, indem dessen Körper alle Theile der einen Sonne sein sollen. Die Cosmogonie Buffon's hat überhaupt eine eminente Bedeutung für die zwei ihr nachfolgenden, für die von Kant und Laplace: Buffon war der erste, der aus den allen Planeten gemeinsamen Eigenschaften auf einen gemeinsamen Ursprung aller schloss und dies ist gerade der Angelpunkt der cosmogonischen Hypothesen; wie beschaffen die gemeinsame Entstehung gewesen ist, kommt erst in zweiter Linie in Betracht, es ist sogar möglich, dass da verschiedene Hypothesen alles, was man nur wünschen kann, leisten. Die genaue Kenntniss der Buffon'schen Schrift ist auch der Grund, weshalb Kant, und fast ein halbes Jahrhundert später Laplace, von denselben Eigenschaften ausgehend, ihre mechanischen Cosmogonien aufstellten und in den Einleitungen fast wörtlich übereinstimmen, ohne dass letzterer von Kant eine Kenntniss hatte. Auf diesen Punkt wies zuerst Herr O. Liebmann[6]) hin. Kant erwähnt ja häufig in der N. d. H. die Buffon'sche Schrift und Laplace[7]) gibt eine Kritik des hierhergehörenden Theiles, beiden war also die Theorie ihres Vorgängers auf das Genaueste bekannt. Ein Blick auf die Zusammenstellung XIII der drei Schriften beweist dies vollständig. Der Schluss von der auffallenden Uebereinstimmung der planetarischen Bewegungen auf einen gemeinsamen Ursprung ist von Buffon gemacht; die erste, man kann wohl sagen, wissenschaftliche Ausführung dieses Gedankens rührt von Kant her, da die Buffon'sche zu weit von irgend einer Wahrscheinlichkeit entfernt ist.

---

[4]) Ueber Kant's Kenntnisse in der Naturwissenschaft vergleiche: Reuschle, Kant und die Naturwissenschaft etc. (Deutsche Vierteljahrsschrift 1868 Heft 2 p. 50—102).

[5]) Newton, opera ed. Horsley, London 1782 p. 171.

[6]) Notiz zur Kant-Laplace'schen Cosmogonie. Philosoph. Monatshefte B 9 p. 246 ff.

[7]) Exposition du Système du Monde (VI. Ausgabe) p. 498 ff.

Diese Uebereinstimmung der Theorien von Kant und Laplace in obigen Punkten hat in Verbindung mit den infolge der Anlehnung an Buffon fast wörtlich zusammenfallenden Einleitungen in die Theorien bewirkt, dass man die jetzt fast allgemein als giltig betrachtete Laplace'sche Hypothese mit dem Namen: Kant-Laplace'sche Hypothese belegt hat und diese Benennung hat in den besten Büchern sich eingebürgert, wie in der Einleitung gezeigt wurde. Herr Ebert[8]) hebt es als ein Verdienst hervor, dass man diesen Ausdruck jetzt gebraucht, obwohl er kurz danach darauf hinweist, wie die Anschauungen beider Forscher fundamental von einander abweichen. Herr Wolf[9]) hat zuerst gegen diese nicht zu rechtfertigende Benennung Protest erhoben und es dürfte sich wohl verlohnen, kurz auf die fast völlige Unähnlichkeit beider Cosmogonien hinzuweisen, um darzuthun, dass man die gegenwärtig geläufige Hypothese nur mit dem Namen von Laplace in Verbindung setzen darf. Ganz besonders durch Zöllners[10]) Schriften hat die Unklarheit in dieser Beziehung, sowie die Vermischung beider Hypothesen, wenigstens in Deutschland, stark überhand genommen. Trotzdem er beide Theorien kannte, also auch ihre grossen Verschiedenheiten eingesehen haben musste,[11]) trifft man überall bei ihm das Bestreben, beide zu identificiren, wie im Vorhergehenden oft bei Gelegenheit gezeigt wurde. Es ist dies seiner Voreingenommenheit zu verdanken, er wollte „den Beweis liefern, dass der Begründer jener Hypothese nicht Laplace, sondern Kant, der Philosoph Deutschlands gewesen ist".[12]) Dies Streben ist aber keineswegs zu billigen, denn legt man nur Gewicht auf die Grundgedanken: die einheitliche und rein mechanisch zu erklärende Entstehung des Sonnensystemes, so kommt dieser eben weder Kant noch Laplace zu, sondern Buffon, man müsste sie also nach diesem benennen, was doch Niemand thun wird. Sieht man aber von diesem ab, so haben beide Hypothesen so wenig Uebereinstimmendes, dass eine Bezeichnung: Kant-Laplace'sche Theorie, logisch geradezu absurd zu nennen ist. Zöllner gibt in den Phot. Unt. und in der Natur. d. Com. (p. 460) Auszüge aus den Schriften beider; während er aber in ersteren noch gewisse Unterschiede beider zugesteht, geht er in letzterer soweit, beide Hypothesen schematisch gegenüberzustellen, doch wohl zu keinem anderen Zweck, als die Gleichheit beider darzuthun, wenigstens muss man diese Absicht voraussetzen, wenn man die oben ausgezogenen Sätze Zöllner's vorher gelesen hat. Dies Schema beweist aber gerade das Gegentheil: die grosse Verschiedenheit beider Theorien. Ich habe analog dem Zöllner'schen ein ausführliches Schema im Anhang zusammengestellt, um meine Behauptung zu beweisen, dabei lasse ich die Theile, die beide Forscher aus Buffon geschöpft haben, fort, da sie nichts mit unserer Frage zu thun haben. Die fast gänzliche Verschiedenheit beider Theorien, die in den Annahmen über den Zustand der Urmaterie ihren Grund hat, ist damit gezeigt. Anders stellt sich die Sache, wenn man die Kant'sche Entstehung des Saturnringes mit der letzten Redaction der Laplace'schen Hypothese vergleicht. Diese stimmen ziemlich überein.[13]) Dies ist zwar sehr bemerkenswerth, aber es berechtigt doch nicht zur Belegung der Laplace'schen Hypothese mit jenem Doppelnamen, da ja der Saturn nur ein einzelner Fall, gewissermassen eine Specialität im Sonnensysteme ist und beide Hypothesen sonst in den wichtigsten Theilen gänzlich von einander abweichen.

Vergleicht man endlich beide Theorien in Bezug auf ihren Werth der heutigen Wissenschaft gegenüber, so ist unzweifelhaft, wenn man auch von Kant's Irrthümern absieht, der Vorzug der Laplace'schen zu geben. Sie dürfte auch heute noch nach den Untersuchungen von Roche, Darwin, Wolf und Andern alle Erscheinungen im Sonnensystem ziemlich befriedigend darstellen, aber was sie über die Kant'sche besonders erhebt, das ist die klare, mechanische, man könnte sagen mathematische Inangriffnahme des Problems. Unklarheiten in den wichtigsten Theilen wie bei Kant, begegnen wir hier nicht. Sie ist nicht so detaillirt,[14]) aber Laplace hat darin Recht gehabt. Eine solche weit umfassende, so viele Wissenschaften berührende Hypothese kann und soll nicht einmal bei der ja immerhin noch mangelhaften Kenntniss der Thatsachen alle speciellen Eigenthümlichkeiten wieder-

---

[8]) p. 95.

[9]) p. 19.

[10]) Phot. Unt. p. 214 ff., Nat. der C. p. 422 ff.

[11]) Phot. Unt. p. 230 geht Zöllner auf einige dieser grossen Unterschiede ein, fährt aber so fort; „Wie dem auch sein mag, so wird die hier gegebene Zusammenstellung der L. und K. Darstellungsweise jedem Unbefangenen die Ueberzeugung verschafft haben, dass K. jedenfalls als Begründer der in Rede stehenden Hypothese von der Genesis des Weltsystemes betrachtet werden muss. Man hat gesehen, dass er aus genau denselben Thatsachen der Beobachtung im Wesentlichen ganz zu denselben Schlüssen wie L. gelangt" etc.

[12]) Phot. Unt. p. 215.

[13]) In den ersten Redactionen liess Laplace direct sich Ringe ablösen. (2. Aufl.) p. 346: „l'atmosphère abandonnera donc successivement . . . des zônes fluides . . . . Il est vraisemblable, que les anneaux de Saturne sont des zônes pareilles, abandonnées par son atmosphère."

[14]) Zöllner Nat. p. 463, Phot. Unt. p. 219.

geben, sie darf ihnen nur nicht widersprechen; im Uebrigen soll sie die Erscheinungen nur im Grossen und Ganzen darstellen, einen zusammenfassenden und umfassenden Ueberblick über sie geben. Es haben ja bei einem so gewaltigen Processe, wie die Entstehung des Sonnensystemes ist, Zustände geherrscht, die wir weder experimentell erzeugen, noch theoretisch verfolgen können, da wir nicht wissen, ob unsere jetzigen physikalischen Gesetze bei solchen Zuständen überhaupt giltig sind, wir können uns dieselben vielleicht nicht einmal vorstellen. Laplace's Bemerkung über seine Theorie:[15]) „que je présente avec la défiance, que doit inspirer tout ce qui n'est point un résultat de l'observation ou du calcul" contrastirt zwar mit Kant's:[16]) „Man könnte .... durch eine Reihe auseinandergefolgerter Schlüsse, nach der Art einer mathematischen Methode, mit allem Gepränge, den diese mit sich führt und noch mit grösserem Scheine als ihr Aufzug in physischen Materien gemeinhin zu sein pflegt, endlich auf den Entwurf selbst kommen, den ich von dem Ursprung des Weltgebäudes darlegen werde" etc., beweist aber, dass Laplace sich der Schwierigkeit seiner Aufgabe vollständig bewusst war. Dagegen macht Kant's Schrift den Eindruck einer grossartigen Phantasie, eines Werkes der „blossen Divinationsgabe oder unbewussten Anticipation des Zukünftigen",[17]) wenn Zöllner auch dies leugnet.

Durch alle diese Betrachtungen werden übrigens Kant's Verdienste, welche oben schon hervorgehoben wurden, keineswegs geschmälert, die N. d. H. war und wird bleiben ein Markstein in der Geschichte der Erkenntniss des Weltsystemes und der Entwicklung der menschlichen Erkenntniss überhaupt.

Schluss.

Zum Schlusse sollen noch einige Betrachtungen angeführt werden, die sich bei der vorangehenden Kritik ergaben und die für eine zukünftige Cosmogonie vielleicht von Werth sein dürften, zumal einige von ihnen bei neueren Versuchen nicht immer beachtet wurden. Die meisten der neueren Cosmogonien gehen nicht von dem Gasball der Laplace'schen Theorie aus, einestheils wohl weil sie das Entstehen der Rotation desselben gar nicht oder nur gezwungen herleiten können und anderntheils weil man glaubt, auf noch frühere Entwicklungsstufen zurückgehen zu können. Dagegen scheinen Bedenken aufzutreten. Es fragt sich nämlich sehr, ob man wirklich dadurch gewinnt, dass man noch weiter zurückgeht, wie es z. B. in der Lockyer'schen Hypothese geschieht. Es ist eine aus weit mehr einzelnen Annahmen zusammengesetzte Hypothese, wenn die unzähligen Meteore, mit verschiedenen Geschwindigkeiten begabt, aus dem Raume nach einer Stelle hin zusammenkommen sollen. Wie kam die Materie in diesen Vertheilungszustand, woher erhielt sie diese verschiedenen Geschwindigkeiten, weshalb kamen die Meteore an der einen Stelle zusammen? Dies scheint mir doch eine viel complicirtere Annahme zu sein, als die einer rotirenden Gasmasse. Es führt diese Betrachtungsweise schliesslich zu metaphysischen Problemen, die man billigerweise in einer Hypothese für die exacten Wissenschaften vermeiden soll.

Ein zweiter Punkt ist der, dass die Kenntniss der Eigenschaften des Planetensystemes noch zu vergrössern ist, wie schon in der Einleitung gesagt wurde. Ganz besonders sind damit die kleinen Planeten gemeint, die eine grössere Verwandtschaft mit einem Meteorstrom zeigen, als mit den übrigen Planeten. Ihre Existenz lässt sich aus der Laplace'schen Cosmogonie nicht unmittelbar folgern, andererseits bieten gerade sie eine Menge auffallender Eigenschaften in Bezug auf ihre einzelnen Bahnen und die Vertheilung derselben. Es lassen sich Gruppen von je zwei Planeten bilden, deren Bahnelemente auf einen gemeinsamen Ursprung der betreffenden Planeten schliessen lassen, worauf zuerst Herr Tisserand[1]) aufmerksam machte; es sind an den Stellen von Commensurabilität der mittleren Bewegungen mit grossen Planeten keine Körpern vorhanden, eine Thatsache, die sich auch bei dem Saturnringe zeigt, ohne dass man wüsste, wie diese auffallenden Erscheinungen zu erklären sind.

Auch auf die Wichtigkeit des Stabilitätsproblemes für die Cosmogonie wurde schon in der Einleitung hingewiesen. Wenn die mittleren Entfernungen der Planeten wirklich mit der Zeit grösser werden, so kann man von den gegenwärtigen nicht auf den Werth der Rotationsgeschwindigkeit des Gasballes schliessen, wie dies vielfach in letzter Zeit geschehen ist. Man kann also einer Hypothese es auch nicht zum Vorwurf machen, dass die jetzigen mittleren Entfernungen nicht mit der Rotationsgeschwindigkeit

---

[15]) Système du Monde p. 477.

[16]) N. d. H. p. 15.

[17]) Zöllner, Natur der Com. p. 428.

[1]) Annuaire du Bureau des Longitudes 1891 B p. 17: „Nous avons dit, qu'il est impossible de rattacher tous les astéroïdes à la rupture d'une planète unique; mais on peut former des groupes de deux planètes, dont les orbites présentent des analogies curieuses et qui ne paraissent pas dues seulement au hasard" etc.

des Gasballes in Einklang zu bringen sind. Auf das Dasein der Stabilität weist aber vieles hin. Wenn dies der Fall ist, so würde also für die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne ein bestimmtes mechanisches Gesetz, nicht wie das Titius-Bode'sche, vorhanden sein, man würde zeigen können, warum sich die Planeten gerade an den Stellen bilden mussten, wo sie jetzt sind und nicht an anderen.

Die Untersuchungen über Gleichgewichtsfiguren rotirender Gasmassen sind ebenso von grösster Wichtigkeit für die Cosmogonie, auf diesem Gebiete ist erst äusserst wenig gearbeitet worden. Wenn Herr Poincaré[2]) auch mit seiner Bemerkung Recht hat, dass die Resultate seiner Arbeit sich nicht unmittelbar auf die Cosmogonie anwenden lassen, da bei einem so enormen Gasball starke Condensationen nach innen vorhanden sein müssen, so ist es doch fraglich, ob man nicht auf kleinere Systeme, wie Erde-Mond die Resultate anwenden kann.[3])

Durch das Vorhergehende dürfte genügend dargelegt sein, dass jetzt, wo einige der oben erwähnten Fragen in Discussion sind, es nicht zeitgemäss ist, eine neue cosmogonische Hypothese aufzustellen, und man sich, bis die Wissenschaft weitere Fortschritte gemacht hat, am besten mit der Laplace'schen Hypothese begnügt, die im Ganzen befriedigend ist.

---

[2]) Acta mathematica B, 7.

[3]) Vergleiche hierzu die Anzeige von Tisserand's Mécanique célèste, Vierteljahrschrift der Astr. Gesellschaft B 25 p. 297 durch Herrn Prof. Seeliger.

ANHANG.

Der hier als Anhang gegebene Auszug aus der N. d. H. ist durchgehends aus der Ausgabe der N. d. H. von H. Ebert, Leipzig, Engelmann 1890 entnommen, auf sie beziehen sich die Seitenangaben, die eingeklammerten auf die Rosenkranz'sche Ausgabe 1889, von Kant's sämmtlichen Werken. Der Auszug aus den betreffenden Stellen bei Laplace ist der Ausgabe: Laplace oeuvres complètes, tom. VI 1884, Note VII entnommen.

Kant.

I p. 15—16 (p. 95—97). Ich nehme an, dass alle Materien, daraus .... alle Planeten und Cometen .... bestehen, . .. in ihren elementarischen Grundstoff aufgelöst, den ganzen Raum des Weltgebäudes erfüllt haben, darin jetzt diese gebildeten Körper herumlaufen. Allein die Verschiedenheit in den Gattungender Elemente trägt,.... zur Bildung des Chaos das Vornehmste bei, als wodurch die Ruhe .... gehoben und das Chaos in den Punkten der stärker anziehenden Partikeln sich zu bilden anfängt. Die Gattungen dieses Grundstoffes sind .... unendlich verschieden. Die von grösster specifischer Dichtigkeit und Anziehungskraft, welche an und für sich weniger Raum einnehmen und auch seltener sind, werden daher bei dergleichen Austheilung in dem Raume der Welt zertreuter als die leichteren Arten sein..... Und da diese Abfälle so unendlich als möglich müssen gedacht werden, so wird also auch jene Art von zerstreuten Elementen um einen so viel gössreren Abstand von einander entfernt sein, als diese.

II p. 16—17 (p. 97—98). Bei einem auf solche Weise erfüllten Raume dauert die allgemeine Ruhe nur einen Augenblick..... Die zerstreuten Elemente dichterer Art sammeln, vermittelst der Anziehung, aus einer Sphäre rund um sich alle Materien von minder specifischer Schwere; sie selbst aber, sammt der Materie, die sie mit sich vereinigt haben, sammeln sich in den Punkten, da die Theilchen von noch dichterer Gattung befindlich sind, diese wieder zu noch dichteren und so weiter.. .. Man wird leicht gewahr, dass alle Folgen dieser Wirkung zuletzt in der Zusammensetzung verschiedener Klumpen bestehen würden, die .... durch die Gleichheit der Anziehung ruhig und auf immer unbewegt sein müssten. Allein die Natur hat Kräfte im Vorrathe, welche sich vornehmlich äussern, wenn die Materie in feine

Laplace.

p. 499 ff. En vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au delà des orbes de toutes les planètes et elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles..... Dans l'état primitif,.... il ressemblait aux nèbuleuses,.... composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité .... l'atmosphère du Soleil ne peut pas s'étendre indéfiniment; sa limite est le point, où la force centrifuge due à son mouvement de rotation balance la pesanteur.

Or à mesure que le refroidissement resserre l'atmosphère et condense à la surface de l'astre les molécules, qui en sont voisines, le mouvement de rotation augmente.... Elle a dû, en se refroidissant, abandonner les molécules situées à cette limite et aux limites successives produites par l'accroissement de la rotation du Soleil. Ces molécules abandonnées ont continué de circuler autour de cet astre.... Considérons maintenant les zones de vapeurs successivement abandonnées. Ces zones ont dû .... former, par leur condensation et l'attraction mutuelle de leurs molécules, divers anneaux concentriques de vapeurs, circulant autour du Soleil. Le frottement mutuel des molécules de chaque anneau a dû accélérer les unes et retarder les autres, jusqu'à ce qu'elles aient acquis un même mouvement angulaire....

Theilchen aufgelöst ist, durch welche dieselben einander zurückstossen und durch ihren Streit mit der Anziehung diejenige Bewegung hervorbringen, die gleichsam ein dauerhaftes Leben der Natur ist.

III p. 17—18 (p. 97—98). Durch diese Zurückstossungskraft, die sich in der Elasticität der Dünste, dem Ausflusse stark riechender Körper und der Ausbreitung aller geistigen Materien offenbart, ... werden die zu ihren Anziehungspunkten sinkenden Elemente, ... durcheinander von der geradlinigen Bewegung seitwärts abgelenkt und der senkrechte Fall schlägt in Kreisbewegungen aus..... Die erste Wirkung dieser allgemeinen Senkung ist die Bildung eines Körpers in diesem Mittelpunkte der Attraction.

IV p. 18, 19, 20 (p. 98—100). Wenn die Masse dieses Centralkörpers so weit angewachsen ist, dass die Geschwindigkeit...., seitwärts gebeugt in Seietnbewegungen ausschlägt, die den Centralkörper .... in einem Kreise umfassen können, so erzeugen sich grosse Wirbel von Theilchen, deren jedes für sich krumme Linien durch die Zusammensetzung der anziehenden und der seitwärts gelenkten Umwendungskraft beschreibt; welche Arten von Kreisen alle einander durchschneiden, wozu ihnen ihre grosse Zerstreuung in diesem Raume Platz lässt. Indessen sind diese auf mancherlei Art untereinander streitenden Bewegungen .... bestrebt, einander zur Gleichheit zu bringen, das ist in einen Zustand, da eine Bewegung der anderen so wenig als möglich hinderlich ist. Dieses geschieht erstlich, indem die Theilchen ihre Bewegung unter einander so lange einschränken, bis alle nach einer Richtung fortgehen; zweitens dass indem sich ihre Verticalbewegung, vermittelst welcher sie sich dem Centro der Attractionen nähern, so lange einschränken, bis sie alle horizontal, d. i. in parallel laufenden Zirkeln um die Sonne als ihren Mittelpunkt bewegt, einander nicht mehr durchkreuzen....: so dass endlich nur diejenigen Theilchen .... schweben bleiben, die durch ihr Fallen eine Geschwindigkeit und durch die Widerstehung der anderen eine Richtung bekommen haben, dadurch sie eine freie Zirkelbewegung fortsetzen können.

V (Dasein Gottes). Endlich ist es auch sehr natürlich, dass, da die Partikeln .... einander stossen oder treiben müssen, bis eines des anderen Bewegung gar nicht mehr stören kann, zuletzt alles auf den Zustand ausschlage, dass nur diejenigen Theichen schweben bleiben, die gerade den Grad des Seitenschwunges haben, der erfordert wird in dem Abstande, darin sie von der Sonne sind, der Gravitation das Gleichgewicht zu leisten, damit ein jegliches sich in freier Bewegung in concentrischen Zirkeln herumschwinge.

Noch ist zu bemerken, dass .... bei solchen nach einer einzigen Gegend gerichteten Umläufen, die

Presque toujours chaque anneau de vapeurs a dû se rompre en plusieurs masses, qui, mues avec des vitesses très peu différentes, ont continué de circuler à la même distance autour du Soleil. Ces masses ont dû prendre une forme sphéroïdique, avec un mouvement de rotation dirigé dans le sens de leur révolution, puisque leurs molécules inférieures avaient moins de vitesse réelle que les supérieures, elles ont donc formé de planètes à l'état de vapeurs. Mais si l'une d'elles a été assez puissante pour réunir successivement par son attraction toutes les autres autour de son centre, l'anneau de vapeurs aura été ainsi transformé dans une seule masse sphéroïdique de vapeurs, circulant autour du Soleil, avec une rotation dirigée dans le sens de sa révolution. Ce dernier cas a été le plus commun; cependant le système solaire nous offre le premier cas dans les .... petites planètes.

p. 504. Les variétés sans nombre qui ont dû exister dans la température et la densité des di-

gleichsam auf einer gemeinschaftlichen Axe geschehen, die Drehung der feinen Materie in dieser Art nicht bestehen kann, weil nach den Gesetzen der Centralbewegung alle Umläufe mit den Ebenen ihrer Kreise den Mittelpunkt der Attraction durchschneiden müssen. Unter allen diesen aber um eine gemeinschaftliche Axe, nach einer Richtung laufenden Zirkeln nur ein einziger ist, der den Mittelpunkt der Sonne durchschneidet. Es eilt daher alle Materie von beiden Seiten dieser in Gedanken gezogenen Axe nach demjenigen Zirkel hin, der durch die Drehung der Axe geradeim Mittelpunkte der gemeinschaftlichen Senkung geht..... Wir sahen einen Raum, der zwischen zwei nicht zu weit von einander abstehenden Flächen begriffen ist und in dessen Mitte die allgemeine Ebene der Beziehung sich ausbreitet..... Indem die um die Sonne in parallelen Zirkeln bewegten Elemente, in nicht gar zu verschiedenem Abstande von der Sonne genommen, durch die Gleichheit der parallelen Bewegung beinahe in relativer Ruhe gegeneinander sind, so thut die Anziehung der daselbst befindlichen Elemente von übertreffender specifischer Attraction .... die Sammlung der nächsten Partikeln zur Bildung eines Körpers anfangen, der nach dem Maasse des Anwuchses seines Klumpens seine Anziehung weiter ausbreitet und die Elemente aus weitem Umfange zu seiner Zusammensetzung bewegt..... Die Planeten bilden sich demnach aus den Theilchen, welche in der Höhe, da sie schweben, genaue Bewegungen zu Zirkelkreisen haben: also werden die aus ihnen zusammengesetzten Massen eben dieselben Bewegungen in eben dem Grade, nach derselben Richtung fortsetzen.

VI p. 20 (p. 101—102). Da aber ein weiter Umfang dazu gehört, aus dem feinen Grundstoffe.... den dichten Klumpen eines Planeten zu bilden, so ist der Unterschied der Entfernungen, die diese Elemente von der Sonne haben und mithin auch der Unterschied ihrer Geschwindigkeiten nicht mehr unbeträchtlich. Sollte nun der Planet die Zirkelbewegung erhalten, so würde Gleichheit der Centralkräfte nöthig sein. Also müssten die verschiedenen Geschwindigkeiten, welche die auf dem Planeten zusammenkommenden Theilchen in ihren verschiedenen Höhen hatten, sich untereinander genau ersetzen. Dies geschieht.... nicht ganz vollkommen und zieht .... die Excentricität des Planeten nach sich. Da ferner die elementarischen Theilchen sich zwar der allgemeinen Beziehungsfläche ihrer Bewegungen so nahe als möglich befinden, aber dennoch einigen Raum auf beiden Seiten derselben einschliessen, so werden nicht gerade alle Planeten ganz genau .... in der Fläche der Beziehung selbst sich zu bilden anfangen, welches dann schon einige Neigung ihrer Bahnen gegeneinander veranlässt.

verses parties de ces grandes masses ont produit les excentricités de leurs orbites, et les déviations de leurs mouvements du plan de cet équateur.

VII p. 35 (p. 120—123). Indem der sich bildende Planet die Partikeln des Grundstoffes aus dem ganzen Umfange zu seiner Bildung bewegt, wird er aus diesen sinkenden Bewegungen, vermittelst ihrer Wechselwirkung, Umlaufsbewegungen, und zwar endlich solche erzeugen, die in eine gemeinschaftliche Richtung ausschlagen und ein Theil dieser so bewegten Partikeln wird die gehörige Mässigung des freien Zirkellaufes bekommen, und in dieser Einschränkung sich einer gemeinschaftlichen Fläche nahe befinden. In dem Raume nahe um diese Fläche werden .... sich die Monde bilden. Die Partikeln des Grundstoffes, aus denen sich die Monde eines Planeten bilden, bewegen sich in einerlei Richtung mit diesen um die Sonne, sind also in relativer[1]) Ruhe gegen denselben..... Denn da sie (die der Sonne näheren Theilchen) mit schnellerem Umschwunge als die übrigen um die Sonne laufen, so nöthigt die Attraction des Planeten sie, schon von weitem .... in einer oblongen Ausschweifung sich über den Planeten zu erheben. Und weil sie einen grösseren Grad der Geschwindigkeit als der Planet selbst haben, so bekommt, wenn sie durch dessen Anziehung zum Sinken gebracht werden, ihr gradliniger Fall, und dadurch auch der Fall der übrigen eine Abbeugung von Abend gegen Morgen..... Aus diesem Grunde werden alle Monde in ihrer Richtung mit der Richtung des Umlaufes der Hauptplaneten übereinstimmen. Aber auch die Fläche ihrer Bahn kann nicht weiter von der Beziehungsfläche der Planetenbahnen abweichen, weil die Materie .... aus eben dem Grunde, den wir von der Richtung überhaupt angeführt haben, auch auf diese genaue Bestimmung derselben, nämlich die Uebereintreffung mit der Fläche der Hauptkreise, gelenkt wird.

VIII p. 36—37, 38—39 (p. 123—128). Die Partikeln des niedersinkenden Grundstoffes, welche eine allgemeine drehende Bewegung von Abend gegen Morgen hin bekommen, fallen grösstentheils auf den Planeten nieder und vermischen sich mit seinem Klumpen..... Indem sie nun in den Zusammensatz des Planeten kommen, so müssen sie als Theile desselben eben dieselbe Umwendung nach eben derselben Richtung fortsetzen, die sie hatten, ehe sie mit ihm vereinigt worden, d. h. der Planet muss sich von Abend gegen Morgen um seine Axe drehen..... Die Axen aller Himmelskörper (müssten) gegen die allgemeine Beziehungsfläche des planetischen Systemes... senkrecht stehen, ... aber er bildete sich .... mehr aus den Partikeln, die auf beiden Seiten niedersanken und deren Menge oder Geschwindigkeiten nicht so völlig abgewogen zu sein scheint, dass die eine Halbkugel nicht eine kleine Ueber-

[1]) Im Original steht „respectiver“ Ruhe.

p. 503. Dans cet état la planète ressemblait parfaitement au Soleil, à l'état de nébuleuse,. .. le refroidissement a donc dû produire .... des phénomènes semblables à ceux, que nous avons décrits, c'est-à-dire des anneaux et des satellites circulant autour de son centre dans le sens de son mouvement de rotation et tournant dans le même sens sur eux mêmes.

p. 506. Si quelques comètes ont pénétré dans les atmosphères du Soleil et des planètes, au temps de leur formation, elles ont dû, en décrivant des spirales, tomber sur ces corps et par leur chute écarter les plans des orbes et des équateurs des planètes du plan de l'équateur solaire.

wucht der Bewegung über die andere und daher einige Abweichung der Axe hätte bekommen können.

IX p. 41—43 (p. 130—135). Die Hitze, die sich ihm in seiner Sonnenhöhe einverleibte, erhob den leichten Stoff von seiner Oberfläche. .... Indessen nachdem der Planet zu dem Abstande, da er jetzt schwebt, gebracht worden, verlor er .... nach und nach die empfangene Wärme und die Dünste, welche von seiner Oberfläche sich noch immer um ihn verbreiteten, liessen nach und nach ab, sich bis in Schweifen zu erheben. .... Die ihn umgebenden Dünste blieben .... um ihn schweben .... in einem beständigen Ringe. .... Saturn habe eine Umdrehung um die Axe gehabt. .... Es mussten diese vom Saturn aufgestiegenen Dünste diejenige Bewegung, die sie bei der Axendrehung des Planeten als Theile von ihm gehabt hatten, ... fortsetzen. Die Theilchen, die nahe beim Aequator des Planeten aufstiegen, müssen die schnellste, und die übrigen eine desto langsamere Bewegung gehabt haben. .... Nur diejenigen Partikeln konnten die Oerter ... in einem beständig freien Zirkelschwung behaupten, die von der Axendrehung her eine Geschwindigkeit hatten, welche der zu dieser Entfernungen gehörigen Centralkraft das gehörige Gleichgewicht halten konnten..... Die übrigen .... müssen entweder mit dem Uebermasse der Bewegung aus der Sphäre des Planeten sich entfernen, oder durchden Mangel desselben auf ihn zurücksinken. .. . Die Theilchen nun, .. . die den freien Zirkelschwung um den Saturn haben bekommen können, werden in dieser Bewegung durch eben die Centralgesetze die verlängerte Aequatorfläche des Planeten von beiden Seiten zu durchschneiden trachten, und indem sie sich in dieser Fläche von beiden Seiten her untereinander aufhalten, werden sie sich daselbst häufen, kurz alle zerstreute Dunstmaterie wird sich neben dieser Fläche in einem nicht gar breiten Raume sammeln und die Räume zu beiden Seiten leer lassen. .... Der vom Planeten erhobene leichte Stoff .... muss aus mechanischen Gründen die Figur eines Ringes annehmen. Der äussere Rand desselben bestimmt die Wirkung der Sonnenstrahlen, welche diejenigen Theilchen, die sich bis in gewisser Weite von dem Mittelpunkte des Planeten entfernt haben, durch ihre Kraft zerstreuen und entfernen. Der innere Rand aber wird durch die Geschwindigkeit des Planeten unter seinem Aequator bestimmt. Denn in demjenigen Abstande von seinem Mittelpunkte, da diese Geschwindigkeit der zu diesem Abstande gehörigen Attraction das Gleichgewicht hält, da ist die grösste Nähe, in welcher die von seinem Körper aufgestiegenen Theilchen durch die von der Axendrehung eigene Bewegung Zirkelkreise beschreiben können. Denn da die noch näheren

Si toutes les molécules d'un anneau de vapeurs continuaient de se condenser, sans se désunir, elles formeraient à la longue un anneau liquide ou solide. Mais la régularité que cette formation exige dans toutes les parties de l'anneau et dans leur refroidissement a dû rendre ce phénomène extrêmement rare. Aussi le système solaire n'en offre-t-il qu'un seul exemple, celui des anneaux de Saturne.

Theilchen zu solchem Umlaufe einer noch grösseren Geschwindigkeit bedürfen, die sie doch nicht haben können, weil die des Aequators die grösste ist, so werden sie excentrische Bewegungen erhalten, die einander kreuzen, wodurch sie sich unter einander aufhalten und endlich insgesammt auf den Planeten wieder niederstürzen.

X p. 44 (p. 135—136). Weil alle Bewegung der Theilchen des Ringes eine einverleibte Bewegung von der Axendrehung des Saturn ist, auf dessen Oberfläche sie sich befanden, so trifft die schnellste Bewegung unter denen, die diese Theilchen haben, mit der schnellsten Umwendung, die auf der Oberfläche des Saturn angetroffen wird, überein; das ist: die Geschwindigkeit, womit die Partikeln des Ringes in seinem inwendigen Rande umlaufen, ist derjenigen, die der Planet auf seinem Aequator hat, gleich. Man kann aber jene aus der Geschwindigkeit eines von den Saturntrabanten finden. .... Die Zeit der Umdrehung beträgt $6^h\ 23^m\ 53^s$.

XI p. 49—50 (p. 141—142). Denn indem die Partikel, die in dem inwendigen Rande des Ringes umlaufen, die oberen durch ihre schnellere Bewegung etwas fortführen und ihren Umlauf beschleunigen, so verursachen die vermehrten Grade der Geschwindigkeit in diesem ein Uebermass der Centrifugalkraft und eine Entfernung von dem Orte, da sie schwebten. Wenn man aber voraussetzt, dass sie bei dieser Trennung von den niedrigen Theilchen einen gewissen Zusammenhang, der nicht ganz unbedeutend zu sein scheint, zu überwinden haben, so wird dieser vermehrte Grad des Schwunges gedachten Zusammenhang zu überwinden suchen: aber ihn nicht überwinden, solange der Ueberschuss der Centerfliehkraft, die er in gleicher Umlaufszeit mit der niedrigsten anwendet, über die Centralkraft ihres Ortes, dieses Anhängen nicht übertrifft. Und aus diesem Grunde muss vom inneren Rande an bis zu einer gewissen Breite der Zusammenhang der Theilchen bestehen, aber nicht in grösserer Breite, wo die Theilchen einen Grad der Geschwindigkeit bekommen haben, der ihren Zusammenhang mit den niedrigeren Theilchen zu überwinden im Stande ist; daher sich jene von diesen abreissen und einen Abstand nehmen müssen, welcher dem Ueberschusse der Umwendungskraft über die Centralkraft des Ortes gemäss ist. Auf diese Art wird der Zwischenraum bestimmt.

XII p. 30—31 (p. 115—118). Je weiter die ausgebreiteten Theile des Urstoffes von der Sonne entfernt sind, desto schwächer ist die Kraft, die sie zum Sinken bringt, der Widerstand der unteren Theile, die ihren Fall seitwärts beugen und ihn nöthigen soll, seine Richtung senkrecht von dem Radius des Zirkels anzustellen, vermindert sich nach dem Maasse, als diese unter ihm wegsinken,

p. 504. Les comètes sont étrangères au système planétaire.

um entweder der Sonne sich einzuverleiben oder in näheren Gegenden Umläufe anzustellen. Diese specifisch vorzügliche Leichtigkeit dieser höheren Materie verstattet ihnen nicht, die sinkende Bewegung .... mit dem Nachdrucke, welcher erfordert wird, um die widerstehenden Partikeln zum Weichen zu bringen, anzustellen; und vielleicht, während diese entfernten Partikeln einander noch einschränken,.... so haben sich unter ihnen schon kleine Massen gebildet, ... welche .... eine nur excentrische Bewegung haben, ... aber doch Cometen bleiben, wenn jene Räume, in denen sie sich gebildet haben, durch Niedersinken zur Sonne, oder durch Versammlung in besonderen Klumpen geeinigt und leer gegeworden. .... p. 32 muss der Grundstoff, der weit vom Mittelpunkt entlegenen Räume .... nicht vermögend ist, sich in dieser Höhe zu dem Plane der Beziehung aller planetischen Bewegungen zu häufen, um die daselbst gebildeten Körper vornehmlich in diesem Geleise zu erhalten; vielmehr wird der zerstreute Grundstoff .... sich gleich leicht auf einer Seite sowohl, als auf der anderen und weit von dem Beziehungsplane ebenso häufig als nahe bei demselben zu Himmelskörpern bilden.

XIII. **Buffon, histoire naturelle**, Paris 1774, p. 133. Les planètes tournent toutes dans le même sens autour du Soleil et presque dans le même plan. .... Cette conformité de position et de direction dans le mouvement des planètes suppose nécessairement quelque chose de commun dans leur mouvement d'impulsion et doit faire soupçonner, qu'il leur a été communiqué par une seule et même cause etc.

Kant, N. d. H. p. 14. Wenn man einestheils erwägt: dass 7 [1]) Planeten mit 14 Begleitern .... alle nach einer Seite sich bewegen, ... dass ihre Kreise nicht weit von einer gemeinschaftlichen Fläche abweichen, ... so wird man bewogen zu glauben, dass eine Ursache, welche es auch sei, einen durchgängigen Einfluss in dem ganzen Raume des Systemes gehabt hat, und dass die Eintracht in der Richtung und Stellung der planetischen Kreise ein Folge der Uebereinstimmung sei, die sie alle mit derjenigen materiellen Ursache gehabt haben müssen, dadurch sie in Bewegung gesetzt worden.

Laplace, Système du Monde (VI. Aufl.) p. 475—476. Quoique les élements du système des planètes, soient arbitraires, cependant ils ont entre eux des rapports, qui penvent nous éclairer sur son origine. En le considérant avec attention, on est étonné de voir toutes les planètes se mouvoir autour du soleil d'occident en orient et presque dans un même plan; les satellites en mouvement autour de leur planètes dans le même sens et à peu près dans le même plan que les planètes; enfin le soleil, les planètes et les satellites .... tourner sur eux-mêmes, dans le sens et à peu près dans le plan de leur mouvements de projection. .... Des phénomènes aussi extraordinaires ne sont point dus à des causes irrégulières..... Nous devons donc croire .... qu'une cause primitive a dirigé les mouvements planétaires.

Zum Vergleich sei noch angeführt:

Newton opera edit. Horsley London, 1782, p. 171. Planetae sex principales revolvuntur circum solem in circulis soli concentricis, eadem motus directione in eodem plano quam proxime. Lunae decem revolvuntur circum Terram, Jovem, Saturnum in circulis concentricis, eadem motus directione in planis orbium planetarum quam proxime etc.

[1]) In anderen Ausgaben sind einige Varianten an dieser Stelle.

Druck von Johann N. Vernay in Wien.